



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

DEPARTAMENTO DE FISICA APLICADA

TESIS DOCTORAL:

Teledetección espacial: De los métodos clásicos al "BIG DATA"

Presentada por CRISTINA MOCLAN SORIA para optar al grado de
Doctor por la Universidad de Valladolid

Dirigida por:
José-Luis Casanova Roque y María Julia Sanz Justo

D. JOSÉ-LUIS CASANOVA ROQUE Catedrático de la Universidad de Valladolid y Dña. MARÍA JULIA SANZ JUSTO, Profesora Titular de la Universidad de Valladolid:

CERTIFICAN: Que la presente memoria titulada: "Teledetección espacial: de los métodos clásicos al "BIG DATA" ha sido realizada bajo nuestra dirección por Dña. CRISTINA MOCLAN SORIA

Y PARA QUE CONSTE y en cumplimiento de la legislación vigente, lo firmamos en Valladolid a 26 de septiembre de 2016.

Fdo.: José-Luis Casanova Roque

Fdo.: María Julia Sanz Justo

A Alejandro Soria,

Si quieres llegar rápido, camina solo.
Si quieres llegar lejos, camina acompañado.
(Proverbio africano)

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi más sincera gratitud a la Dra. María Julia Sanz Justo por la gran oportunidad que me ha brindado de poder realizar este trabajo bajo su extraordinaria dirección, por su perseverancia y sus consejos.

Al Dr. José-Luis Casanova Roque por hacer que mi andadura en la Teledetección fuera posible, por sus pautas para alcanzar la dirección correcta y por su generosidad, siempre facilitando a todas las personas que le rodean que sus sueños se hagan realidad.

Al Dr. Alfredo Romo por sus prudentes consejos y su infinita paciencia a lo largo de todos estos años.

A Mala, por tu ayuda incondicional en todo momento, por hacer que todo sea siempre más fácil. A mi familia, especialmente a Domingo, Conchi, María, Petra, Diego, Leticia, Ainhoa, Malena y Malaquías, por vuestra comprensión e incondicionalidad durante todo el tiempo que no os he dedicado.

A la empresa Deimos Imaging por facilitarme los recursos y la posibilidad de dirigir los distintos proyectos que han permitido la realización de esta Memoria.

No quiero terminar estas líneas sin expresar mi más sincera gratitud a todas aquellas personas que me han ayudado y con las que el trabajo resulta más un placer que una obligación: Fabrizio, Jorge, Patricia, Mónica, Lucia, Fernando y a todos los miembros del LATUV y a otros muchos que no menciono, por no olvidar a alguno, pero a los que recuerdo y dedico mi más emocionado agradecimiento. A todos mil gracias por vuestro apoyo.

INDICE

Capítulo 1.- INTRODUCCIÓN	5
Capítulo 2.- GESTION DE DESASTRES NATURALES	13
2.1 Caso de estudio operacional: inundaciones	13
2.2 Metodología ante la activación de una emergencia por inundación	15
2.3 Metodología para la evaluación de daños tras la inundación	19
2.3.1 Método supervisado	20
2.3.2 Método no supervisado	23
2.3.3 Comparación de las estimaciones de área afectada mediante clasificación supervisada y no supervisada	25
2.4 Validación	30
Capítulo 3.- ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA DEFORESTACIÓN EN PAISES TROPICALES	35
3.1 Estudio, definición, diseño y desarrollo de un prototipo para adquisiciones sistemáticas	36
3.2 Procesado de las coberturas sistemáticas DEIMOS-1	38
3.2.1 Definición y desarrollo de algoritmos de filtrado de nubes multi-temporales y multiespectrales	39
3.2.2 Definición metodológica para la restitución de falta de información	42
3.2.3 Definición metodológica para la eliminación de inconsistencias temporales	49
3.3 Variables para la estimación del impacto ambiental en los ecosistemas	49
3.4 Elaboración de mapas de cambio para la estimación de la deforestación	56
3.4.1 Análisis de tendencias: Cambios fenológicos en el tiempo	57
3.4.2 Análisis de Componentes Principales	58

3.4.3 Algoritmo de umbrales _____	60
3.4.4 Métodos automáticos de análisis: Análisis de regresión _____	61
3.4.5 Métodos automáticos de análisis: Análisis de la diferencia _____	61
Capítulo 4.- LA TELEDETECCION COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTION AGRICOLA _____	63
4.1 Estimación de los parámetros de sensorización, por métodos de regresión _____	65
4.1.1 Características del lugar de estudio _____	65
4.1.2 Relación del grado Brix con las características de la uva _____	69
4.2 Estimación del grado Brix desde un mapa de satélite _____	71
4.2.1 Validación _____	73
4.3 Recomendación o índice de asimilación de nitrógeno _____	73
4.4 Estimación de los parámetros de referencia basados en imágenes de satélite _____	75
4.4.1 Índice de vegetación del Ratio. RVI _____	76
4.4.2 Índice de vegetación de la Diferencia Normalizada – NDVI _____	76
4.4.3 Índice de Área Foliar _____	76
4.5 Explotación de la información espacial _____	77
4.5.1 Puntos de muestreo _____	78
4.5.2 Creación de mapas de variables de campo a partir de datos de satélite _____	80
4.5.3 Informes sobre el estado relativo de los cultivos _____	82
Capítulo 5.- BIG DATA _____	85
5.1 Big Data como herramienta para la Teledetección _____	85
5.2 Hacia el cambio: las nuevas Tecnologías del Big Data _____	88
5.2.1 Arquitectura de sistemas Big Data: Clusters basados en HPC y las plataformas en la Nube _____	88
5.2.2 Las plataformas en la nube _____	89
5.2.3 Sistemas de ficheros en paralelo y Base de Datos _____	90
5.2.4 Software de programación: El proyecto Apache™ Hadoop _____	91
5.3 Limitaciones y oportunidades del Big Data en Teledetección _____	91
5.4 Teledetección, Big Data e inundaciones _____	94
5.5 Teledetección, Big Data y la estimación del impacto ambiental de la deforestación en países tropicales _____	95
5.6 Teledetección, Big Data y agricultura _____	103
Capítulo 6.- CONCLUSIONES _____	113
Capítulo 7.- BIBLIOGRAFIA _____	115
ANEXO I: DEIMOS-1 _____	121
ANEXO II: DEIMOS-2 _____	129

Capítulo 1.- INTRODUCCIÓN

En esta Memoria presentamos tres casos de estudio en Teledetección operacional, desarrollados en un marco empresarial: uno corresponde a los servicios de apoyo prestados a las autoridades e instituciones competentes involucradas en la gestión de las graves inundaciones acaecidas en febrero y marzo de 2015 en el río Ebro. Otro es un procedimiento para apoyo a la gestión de la viña de una empresa puntera en la producción de albariño de alta gama, Pazo de Señorans. Y el último es un proyecto piloto para el seguimiento de los bosques tropicales, desarrollado en dos países muy representativos de este tipo de bosque: Paraguay y Tailandia. Los tres casos se desarrollaron de manera satisfactoria, dieron los resultados esperados y los tres se ejecutaron siguiendo los procedimientos clásicos de la Teledetección: toma de imágenes y datos auxiliares, manipulación de los mismos y obtención de resultados.

Sin embargo, un objetivo obligado de cualquier tarea ejecutada en estos tiempos es maximizar el rendimiento del esfuerzo realizado: se diseñaron y pusieron a punto protocolos para la actuación en el caso de desastres naturales, se desarrollaron aplicaciones para el rápido cálculo de índices de vegetación, se programaron elementos para la captura periódica de imágenes y para su rápida consulta etc etc. Todo esto no podía, ni debía, quedar archivado como unas tareas ya cumplidas y cerradas.

Desde el lanzamiento del primer Landsat Multispectral Scanner System (MSS) en 1972, la Teledetección, se ha beneficiado del desarrollo de los nuevos avances de la tecnología. En los años 80 las imágenes se imprimían con impresoras de carro utilizando los símbolos ASCII para representar, en tonos de gris, las diferentes superficies. Los ordenadores apenas alcanzaban a manejar con soltura algunos megas de memoria y las imágenes, difíciles de conseguir, se leían lentamente de voluminosos rollos de cinta: una simple imagen AVHRR-NOAA obligaba a cargar con un par de kilos de cinta. En los 90, la llegada del ordenador personal, y los avances de los procesadores y sistemas operativos, hasta llegar al Pentium, al Windows o al Linux, dieron un nuevo y formidable impulso a la Teledetección junto con el desarrollo de la red, las impresoras en color y la espectacular disminución de los dispositivos de almacenamiento.

Al mismo tiempo, los escasísimos satélites de observación que volaban a finales de los 90, la serie NOAA, la serie Landsat, los geoestacionarios GOES y Meteosat y algunos más, se vieron acompañados de los nuevos EOS de NASA y de multitud de nuevos satélites, la mayoría en la categoría de mini o medianos satélites, gestionados por entidades gubernamentales e incluso algunas empresas privadas. Esto ha llevado a que haya miles y miles de imágenes disponibles y a que se haya abierto el acceso a ellas de manera que a través de la red es posible conseguir casi cualquier imagen en cualquier momento.

En sus orígenes los usuarios o bien estaban en el campo militar o en el científico. Ya a lo largo de los años 90 la Teledetección empezó a ser apreciada por las instituciones oficiales apareciendo las primeras consultorías. En este siglo la situación ha cambiado totalmente. Aparte del cine y la televisión, gracias a herramientas como Sigmac en España y Google Earth en el mundo, el público en general se ha familiarizado con las imágenes de satélite, considerándolas como algo habitual en la vida corriente y eso ha creado un nuevo tipo de usuario que puede ser cualquier persona que cuente con acceso a una plataforma vía internet y que sienta curiosidad por ver las cosas desde el espacio.

Entre estos nuevos usuarios los hay con un perfil profesional, que sin tener conocimientos específicos de Teledetección quieren ser capaces de beneficiarse de las oportunidades que la teledetección pueda ofrecer a su trabajo. Dada la ubicuidad de Internet, estos nuevos usuarios con perfil profesional se dan en todos los países del mundo, sus necesidades son cuantas se puedan imaginar y es necesario atender su demanda facilitándoles el acceso a la Teledetección y a sus productos.

Es en este contexto en el que se ha desarrollado la presente memoria. Como hemos mencionado, para los tres casos de estudio se han desarrollado multitud de aplicaciones, algoritmos, protocolos etc, que han dado un resultado muy satisfactorio y que han sido muy bien aceptados por los usuarios finales. Los tres casos tratan situaciones específicas: el primero, una inundación que, por desgracia, puede darse, y se da, en cualquier parte del mundo. El segundo, optimiza la gestión de una bodega que produce vino de muy alta calidad, negocio en el que están involucrados multitud de países, desde Australia o Sudáfrica hasta Estados Unidos o China. Y el tercero ha demostrado la posibilidad de una vigilancia permanente de los bosques tropicales, que son el pulmón del planeta y que por lo tanto a todos interesa conservar. La solución para aprovechar las tareas ya realizadas y poder dar apoyo a los potenciales usuarios distribuidos por todo el mundo ha sido entrar en el universo Big Data.

El término Big Data ha alcanzado una gran notoriedad en los últimos años siendo un concepto de moda en el tema I+D+i y ampliamente utilizado dentro de los ámbitos empresariales, académicos y de la administración (Jeansoulin R., 2016). No obstante, aún hoy es difícil encontrar una definición aceptada globalmente que explique éste concepto en el que existe todavía mucha confusión.

Gantz y Reisel, (2012), definen el “Big Data” como la nueva generación de tecnologías, arquitecturas y diseño para extraer y utilizar volúmenes muy grandes de una amplia variedad de datos, a alta velocidad, de una forma económica y rentable. También, se puede definir cómo “grandes cantidades de datos” lo que se traduce en cantidades masivas (petabytes, exabytes, zettabytes, etc). Singh et al. (2015). El Instituto Global McKinsey (Manyika et al., 2011) estimó que el volumen de datos está creciendo 40% por año, y crecerá el 44% entre los años del 2009 al 2020.

Uno de los principales análisis de este término la ha hecho Viktor Mayer-Schönberger el cual predice que los datos son el nuevo oro de este siglo XXI. Viktor Mayer-Schönberger, profesor de Regulación y Gestión de Internet en la Universidad de Oxford, es uno de los expertos más reconocidos internacionalmente, siendo su último libro “ Big Data: A Revolution That Will Transform How We Live, Work and Think” libro escrito conjuntamente junto a Kenneth Cukier, editor de datos de The Economist, en el que postulan que este nuevo concepto es tan potente que llegará a modificar nuestra manera de ver el mundo, ya no más mirando hacia atrás buscando la causalidad, sino hacia adelante descubriendo patrones en los datos que nos marquen el futuro. No es por tanto de extrañar el interés que suscitan.

Gartner (2012) define Big Data como “activos de información caracterizados por su volumen elevado, velocidad elevada y alta variedad, que demandan soluciones innovadoras y eficientes de procesado para la mejora del conocimiento y la toma de decisiones en las organizaciones”. En esta definición se introducen las famosas 3V del Big Data (Laney, 2011), que hacen referencia a las tres principales características del Big Data, Volumen, Velocidad y Variedad.

Volumen: el incremento de los volúmenes de datos que se generan en todos los ámbitos se ha puesto de manifiesto en los últimos años con la proliferación de nuevas fuentes generadoras de datos. Esta característica suele asimilarse con el término de Big Data, aunque hay más características que lo definen.

Velocidad: hace referencia a la velocidad con que se generan los datos y también a la necesidad de acceder a ellos rápidamente.

Variedad: hay datos estructurados, semi-estructurados y no estructurados, y además nuevos datos aparecidos de la fusión de estos datos originales con información nueva. Los datos estructurados tienen longitud y formato definidos siguiendo un esquema particular y se almacenan en tablas. Un ejemplo son las hojas Excel o las bases de datos. Los datos semi-estructurados pueden ser irregulares e incompletos, su formato no respeta un esquema particular estando los distintos elementos separados mediante marcadores de forma que permiten ser gestionados de una forma estándar a partir de sus metadatos, los cuales describen los objetos y las relaciones entre ellos. Como ejemplo está el HTML o el XML. Los datos no estructurados no se enmarcan dentro de un formato predefinido no pudiéndose almacenar en tabla. Algunos ejemplos son los documentos de texto o los e-mails, y son los más abundantes, casi un 80%.

Numerosos programas de observación de la Tierra como los de la serie NOAA o Landsat, la serie Fengyun o los datos TERRA-MODIS y AQUA-MODIS, MERIS-ENVISAT, Meteosat o MSG han capturado imágenes de manera ininterrumpida a lo largo de las últimas décadas proporcionando información para las distintas aplicaciones de la Teledetección. Actualmente son ya muchos más los satélites que capturan imágenes de manera continua proporcionando enormes cantidades de datos. Se estima que el total de datos de observación de la tierra archivados en NASA EODIS supera los 3 Petabyte. NASA genera alrededor de 5 Terabytes por día. El Open Geospatial Consortium, OGC, estima que el archivo total de datos de observación de la Tierra podría haber superado un Exabyte durante 2015.

Haciendo referencia a la velocidad de transmisión del dato, la tasa de ficheros transferidos diariamente para cada una de las misiones ha sufrido un crecimiento considerable. Sirva de ejemplo el flujo de datos proporcionado por Landsat-8, llegando a alcanzar unos 241 Gigabyte al día. Ante tales tasas de generación de datos se hacen necesarios cambios en la gestión y procesado de forma que sean accesibles para su consulta en tiempo real. La siguiente Tabla muestra el volumen de datos diarios generados por diversos satélites.

El número de datos generado viene dado por características tales como el número de bandas multispectrales y otros; por ejemplo Hyperion mide en 220 bandas espectrales con una resolución espectral de 10 nm, con varios formato de almacenamiento de los ficheros (HDF, netCDF, GeoTIFF etc.) e incommensurables metadatos a la hora de definir el producto.

Cantidad de datos diarios generados por diversos satélites. (Wang L., 2016)

Satellites	Data Rates (MB/S)	Data Amount (GB/Day)	Data Amount (TB/Year)
ZY-02	113.98	115	40.99
ZY-03	304	334	119.05
HJ-1A	120	114	40.63
HJ-1B	60	57	20.32
HJ-1C	320	187.5	66.83
LandSat8	440.00	241.70	47.33
RadaSat2	105.00	57.68	11.29
RadaSat-1	105.00	57.68	11.29
SPOT-5	100.00	54.93	10.76
LANDSAT5	85.00	28.02	9.99
SPOT-4	50.00	10.99	3.92
RADARSAT-1	105.00	34.61	12.34
ENVISAT	100.00	32.96	11.75
IRS-P6	210.00	46.14	16.45

Adquisición de Datos: Volumen y tasa de datos (Lizhe Wang)

- Single RS data set: GB
- Daily receiving RS data set: TB
- National RS data archive: PB
- International RS data archive: EB

Para hacernos idea de la cantidad de datos que debe ser procesada y analizada, veámoslo en términos de byte como unidad de medida:

- Gigabyte= 10^9 =1,000,000,000 byte
- Terabyte= 10^{12} =1,000,000,000,000 byte
- Petabyte= 10^{15} =1,000,000,000,000,000 byte
- Exabyte= 10^{18} =1,000,000,000,000,000,000 byte
- Zettabyte= 10^{21} =1,000,000,000,000,000,000,000 byte
- Yottabyte= 10^{24} =1,000,000,000,000,000,000,000,000 byte

El Instituto Global McKinsey estimó que el volumen de datos está creciendo 40% por año, y crecerá el 44% entre los años del 2009 al 2020 y la consultora IDC Digital Universe estima que para el año 2020 se podría llegar a los 40 zettabytes de datos generados.

Todo lo anteriormente comentado se puede resumir gráficamente en la siguiente figura:



Esquema de los elementos básicos del concepto Big Data

Considerando las características anteriores podemos pasar a una nueva definición de este término, que es el que nosotros tenemos presente en esta memoria:

Big Data es información de gran volumen, a alta velocidad y de diferente variedad, que requiere nuevas formas de procesamiento para permitir su comprensión en mayor profundidad, de una forma sencilla para el usuario y que ayude a la toma de decisiones y la optimización de los procesos Si bien la toma de decisiones en muchas ocasiones

puede ser llevada a cabo automáticamente, siempre debe tenerse en mente el elemento humano como último eslabón de la cadena de decisión.

Muchos autores añaden una cuarta y una quinta características, pasando a ser denominadas junto con las anteriores las 5 V del Big Data:

Veracidad, ya que el nivel de fiabilidad asociado a los datos es fundamental de forma que las conclusiones que se extraigan de ellos no estén distorsionadas (Normandeau, 2013) lo que obliga a que los datos registrados se asocien con estimaciones de su incertidumbre y precisión.

Valor: y por último, y no menos importante característica, es el valor de los grandes volúmenes de datos y que depende de nuestra capacidad para extraer información de ellos.

En resumen, los cambios ocasionados por el Big Data desde luego no se limitan al manejo de grandes cantidades de datos, sino que incluyen cambios en la adquisición, el almacenamiento, la gestión, el análisis, la visualización y la transmisión de los datos y de los productos derivados, sin olvidar el problema de compartir o diseminar datos libremente. Es una idea nueva que obliga a ampliar todos los conceptos usados hasta ahora: se tratan muchos datos, infinidad de datos; tienen que ser accesibles a muchos usuarios, que deben acceder a ellos de manera rápida y sencilla; hay que generar muchos productos que el usuario comprenda fácilmente y que sean fiables...En definitiva, hay que disponer de sistemas capaces de asimilar datos procedentes de muchas fuentes, tratarlos y servir productos a tantos usuarios como sea preciso. Y la clave de estas frases es el término "muchos" que hay que interpretar en el sentido expresado anteriormente: tras, petas o exas, y "rápidamente" que implica en tiempo real, o casi.

En el Capítulo 2 tratamos las inundaciones de 2015 del río Ebro. Describimos el protocolo de activación que generamos y pusimos a punto para el momento en que se recibiera la primera alarma, la programación de capturas rápidas para informar de la extensión y avance del agua y en general de la información cualitativa que puede distribuirse en un momento sobre la base de clasificaciones no supervisadas. Una vez pasada la primera fase de peligro, y ya llegado el momento de la estabilización y sin peligro de pérdida de vidas humanas, se pasa a la fase de evaluación de daños y de información cuantitativa pudiendo utilizar, sin la premura de tiempo de la primera fase, técnicas de clasificación supervisada. En la primera fase se dispuso de satélite Deimos-1 de 22 m de resolución y en la segunda, con más detalle, del Deimos-2, con 0'75 m de resolución. El Capítulo se cierra con una validación de los resultados.

El Capítulo 3 se centra en el proyecto Deimes, financiado por el CDTI, "Estimación del impacto ambiental de la deforestación en países tropicales mediante la monitorización sistemática por satélite". Se trataba de un proyecto piloto centrado en Paraguay y en Tailandia. Duró dos años y el principal problema se debió a la nubosidad que

habitualmente cubre los bosques de esos países. No obstante se consiguió obtener series de imágenes del NDVI de ambos países en base a una automatización de las capturas, controlada por la previsión de nubes, y una cadena de procesado de imágenes Deimos-1 de la que cabe destacar el filtrado de nubes y la geo-registración en tiempo quasi-real. En base a todo ello se analizó la biomasa partiendo de varios índices espectrales y se elaboraron mapas de cambios en base a un proceso también automatizado.

El Capítulo 4 trata de la aplicación de la Teledetección a las viñas del Pazo de Señorans, una empresa vitivinícola que elabora albariño de alta calidad. El estudio se hizo utilizando imágenes Deimos 1 y 2. En este caso se contó con la colaboración de los técnicos de la empresa que suministraron todo tipo de datos de suelo, incluyendo abonados, datos meteorológicos y otros. Tras generar un mapa digital de la instalación se analizaron los datos suministrados por la empresa y se encontró que el grado Brix, Bx, es el elemento que mejor correlaciona con los distintos componentes químicos de la uva: ácido málico, acidez total etc. Se diseñó entonces un procedimiento para estimar estas variables desde el espacio, que dio resultados, en todos los casos, superiores a un valor de r^2 superior a 0'9. Por último se elaboró un modelo de asimilación de nitrógeno y se elaboraron mapas de distribución de diversos componentes de la uva y del estado de la vid.

Como ya se mencionó, no es admisible que todas las tareas y desarrollos llevados a cabo en estos tres casos de estudio quedasen simplemente reducidos a un informe final. Era necesario maximizar el rendimiento del esfuerzo y los medios utilizados en estos estudios, y desde luego aprovechar todos los desarrollos hechos. Esto nos llevó a mover todo el trabajo hecho al universo Big Data.

El Capítulo 5 comienza con algunas generalidades sobre el Big Data y la teledetección, para pasar a continuación a describir algunos elementos clave de Big Data: los clusters basados en HPC y las diferentes tipos de plataformas en la Nube, con sus características, así como los sistemas de ficheros en paralelo, PFS, las bases de datos SQL y NoSQL, el software de programación Hadoop. Todos estos elementos han sido utilizados para adaptar los casos de estudio ejecutados al ambiente Big Data. Así, se presenta el esquema de funcionamiento de un sistema de ayuda en caso de un desastre natural, preparado para actuar automáticamente siguiendo las pautas descritas en el Capítulo 2.

A continuación se presenta la aplicación preparada para la gestión de bosques tropicales. La aplicación permite al usuario fijar la zona del mundo que desee analizar, ver cuantas imágenes hay en esa zona, seleccionarlas, verlas en falso color, conocer la nubosidad y eventualmente descargarlas en diferentes formatos.

Por último se presenta la aplicación servida a un usuario para la gestión de una vid. Es de señalar que los datos de entrada radiométricos son las reflectancias, ya que así se

tiene la posibilidad de utilizar un índice de vegetación diferente al NDVI que se utilizó en el casodel pazo de Señorans.

Un último Capítulo dedicado a las conclusiones cierra esta Memoria, junto con una relación de la bibliografía más importante consultada y dos Anexos.

Capítulo 2.- GESTION DE DESASTRES NATURALES

2.1 Caso de estudio operacional: inundaciones

La Teledetección ha sido utilizada frecuentemente para la fase de respuesta en la gestión de desastres y como mejora del conocimiento del daño ante la toma de decisiones. Desde su constitución en 1999 como resultado de un acuerdo entre diecinueve agencias espaciales y otras entidades espaciales, el "International Charter Space and Major Disaster" ha proporcionado datos de Teledetección, sin coste, tanto a los países firmantes como los no firmantes para hacer frente a desastres tales como terremotos, inundaciones o tsunamis (Burkhead, J., 2012).

Dada la gran variedad de satélites en órbita, las características de cada uno son las que definen a qué tipo de desastre aportará cada uno una respuesta adecuada (Nirupama and Simonovic, S. P., 2002), pudiendo los sensores con bandas infrarrojas cercana y media participar en la detección de focos de incendios forestales, mientras que los sensores con bandas infrarrojas y visibles permitirán estimar el área devastada por el incendio. Teniendo en cuenta las tipologías y ventajas de cada uno de los satélites, ante un desastre natural la Teledetección se presenta como una herramienta necesaria para su mitigación proporcionando información necesaria para:

- Rápida evaluación de la severidad y alcance del desastre
- Identificación de zonas más afectadas de forma que se puedan priorizar los esfuerzos de asistencia
- Planificación de rutas de escape y ayuda eficientes para la gestión de los equipos de emergencia a las localizaciones más críticas (Sinha y Goyal, 2001), optimizando tiempos de respuesta y, como consecuencia, salvando vidas.
- Localización de lugares para establecer los campamentos para albergar a las personas afectadas por el desastre
- Gestión en la reconstrucción de la zona después del desastre
- Estimación de cómputo total de las pérdidas ocasionadas (RMSI, 2003; and Tralli, 2000)

En los desastres naturales, terremotos, volcanes, tsunamis, incendios forestales, huracanes, inundaciones y corrimientos de tierras y otros, se han venido utilizando las distintas técnicas de Teledetección de forma que han permitido la gestión del esfuerzo y la evaluación del daño en estas situaciones de crisis.

Dependiendo de la etapa en la cual se encuentre el desastre, la información proporcionada por el satélite será principalmente utilizada desde un punto de vista cualitativo, donde el tiempo de entrega del producto es prioritario, o desde un punto de vista cuantitativo, donde en el producto final el procesado y los controles de calidad predominarán frente al tiempo de entrega.

En este capítulo va a ser analizado el caso de estudio de una gran inundación en la cuenca del Ebro ocurrida entre febrero y marzo de 2015 desde los distintos puntos de vista de la Teledetección operacional. Este análisis demostrara los beneficios, utilidades y limitaciones de la Teledetección ante la gestión del desastre.

Por desgracia las inundaciones son cada vez más frecuentes e intensas provocando cada vez más pérdidas humanas y materiales. En este capítulo se exponen las técnicas de Teledetección usadas para mitigar sus efectos y evaluar sus daños. Para esta tarea se contó con la ayuda de los satélites Deimos-1 y Deimos-2, los cuales en modo constelación aportan información tanto en la fase de gestión de una respuesta rápida ante el evento como en la fase de estimación final del daño.

Debido a la alta resolución y sus casi 630 km de swath, Deimos-1 nos proporcionará una visión global del área afectada. Esto unido a su alta revisita, cada tres días, permite llevar a cabo una evolución de las zonas afectadas por la inundación. Deimos-2, con muy alta resolución nos permitirá obtener el área afectada con un mayor detalle, pudiendo determinar con mayor exactitud los daños ocasionados en distintas demarcaciones tales como parcelas agrícolas, edificaciones o zonas de ribera.

A continuación se presentan las técnicas para el uso de la Teledetección como herramienta ante las inundaciones desde dos enfoques distintos. El primero mostrará la respuesta operacional en tiempo real ante la necesidad de imágenes para gestionar el daño de la inundación y su posible evolución. El segundo enfoque mostrará la Teledetección como herramienta para determinar la estimación final del daño ocasionado por el evento.

La malaria, una enfermedad que mata cada año a más de un millón de personas es provocada por un parásito que golpea sobre todo al África subsahariana, a la cuenca del Amazonas y algunas regiones tropicales de Asia.

2.2 Metodología ante la activación de una emergencia por inundación

Han sido numerosos los esfuerzos invertidos por parte de distintos organismos para establecer metodologías precisas y rápidas para poder evaluar el impacto y poder calcular la profundidad y alcance de las zonas afectadas por inundaciones. El poder conocer el alcance real y poder diseñar planes de evacuación y de actuación es imprescindible. Es aquí donde juega un papel importante la utilización de la Teledetección aportando datos en tiempo real para la gestión de la emergencia.

Es importante tener definida una metodología de respuesta en tiempo real de forma que una vez realizada una activación sean muy claros los pasos a seguir. A continuación, véase Figura 1, se enumera el flujo de trabajo que se debe de llevar a cabo ante una activación de emergencia por inundaciones para la obtención de una imagen en tiempo real a partir de satélites que operan en servicio 24/7 como son Deimos-1 y Deimos-2. Las tareas definidas son los pasos esenciales a seguir ante la activación de emergencia independientemente de si la activación ha sido llevada a cabo por Charter, un organismo oficial o un ente privado.

Activación: se recibe un correo electrónico cuyo asunto contiene el código de activación de emergencia. Se incluye información del área de interés deseada mediante envío de coordenadas o formato vectorial. Asimismo deberá definir la categorización del satélite a capturar, alta resolución o muy alta resolución y las características del producto final que se desea solicitar.

Acuse de recibo: se envía un correo al usuario de forma que se dejará evidencia del conocimiento de la recepción de la petición de adquisición clasificada como emergencia.

Estudio de viabilidad: Se realiza un informe donde se mostrarán las tres próximas oportunidades de adquisición de imagen más cercanas en tiempo sobre el área de interés solicitada. Dentro de la información proporcionada se incluye la fecha y hora de captura y de descarga en la estación de tierra más próxima, tanto por ciento del área de interés cubierto en la captura, estimación del tiempo de procesado y de entrega del producto. Una vez que se finalice se envía al usuario. Es frecuente añadir la cobertura nubosa esperada para el instante de la captura como dato de referencia.

Confirmación de la petición: si el usuario está interesado en alguna de las oportunidades proporcionadas en el estudio de viabilidad, confirma su petición enviando un correo en el que informa de su elección. Se espera que la elección de la oportunidad sea la primera oportunidad más próxima en el tiempo; no obstante, la previsión de nubosidad sobre el área de interés sobre el área en la fecha prevista puede condicionar esta elección.



Figura 1. Diagrama de flujo para la activación de una emergencia

Planificación de adquisición: una vez confirmado el interés en una de las oportunidades, se introducirá la petición en el planificador de Misión, software donde se actualizan los ficheros necesarios para la intervención del satélite y en la primera estación de tierra en la que se puede contactar con el satélite se priorizará la subida de esta información para que sea capturada la zona de interés.

Dentro de la petición se deben tener en cuenta los parámetros de configuración de captura de la imagen, ganancias digitales y tiempo de exposición, según el tipo de suelo presente en el área de interés seleccionado; también se planificará con prioridad de captura y de descarga frente al resto de imágenes dada su definición como “emergencia”. De esta forma cualquier imagen que estuviera planificada anteriormente y entrara en conflictos con esta nueva adquisición será automáticamente eliminada. La Figura 2 muestra la planificación de una petición sobre las áreas de interés recibida en la activación para el satélite Deimos-1

Adquisición de la imagen: una vez se captura la imagen planificada para el área solicitada, se descarga en la primera estación de tierra con la que entre en contacto el satélite. Si por tamaño no fuera posible descargar la imagen en la primera estación, hecho poco probable debido a la priorización del tiempo de respuesta al tamaño del dato, será necesario esperar a que se descargue en una segunda estación y una vez que esté por completo descargada en las estaciones de tierra se transferirá el dato crudo a la cadena de procesado.

Procesado de la imagen: una vez que la imagen en crudo ha sido transferida a la cadena de procesado y junto con la clave de descryptación, se procesa hasta generar el producto requerido por la activación de la emergencia. Debido a que los tiempos de emergencia son prioritarios el producto solicitado en la mayor parte de las activaciones es el L1B+ RPC. El error de posicionamiento de estos RPC suele ser mejorado por procesos automáticos como resultado de correlaciones con imágenes de referencia predefinidas. La Figura 3 muestra la imagen Deimos-1 capturada el 2015-03-06 sobre la zona afectada por las inundaciones.

Entrega de la imagen: una vez procesado y calculado su metadato, independientemente de la cobertura nubosa de la imagen, se comprueba que los controles de calidad son óptimos y se copia el producto a un ftp definido para el cliente. La entrega se dará por terminada en el momento que se envía un correo al usuario de forma que se comunique el nombre del producto y su localización dentro del ftp definido para la entrega.

Una vez entregada, el usuario final computará los productos de valor añadido necesarios para evaluar el alcance del desastre y las zonas afectadas y planificar así la ayuda necesaria. En la Figura 4 se muestra el anuncio en la página web ESA donde se hace eco de la recepción de las imágenes capturadas por Deimos-2 en tiempo real durante el periodo en que persistió el evento.

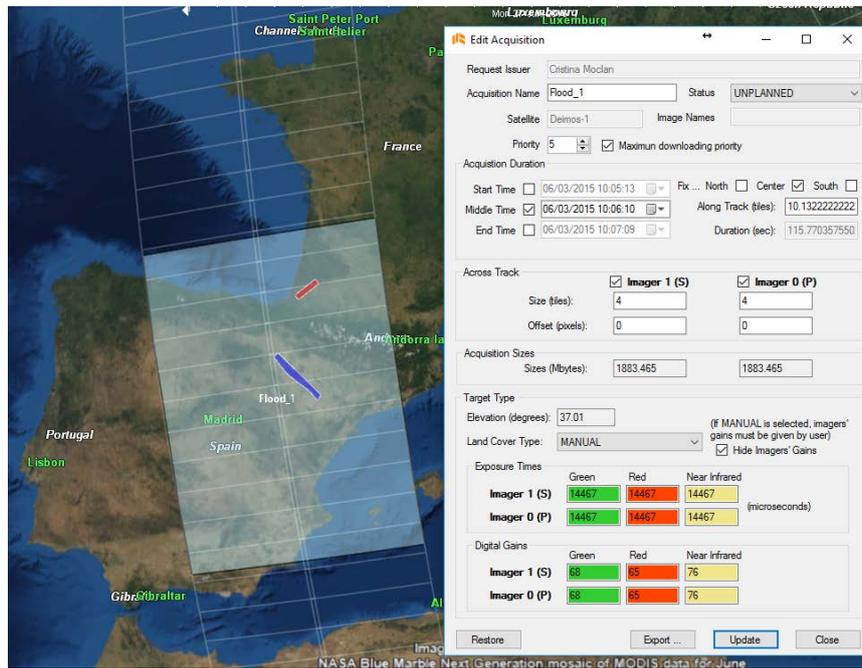


Figura 2. Planificación de una imagen de emergencia Deimos-1

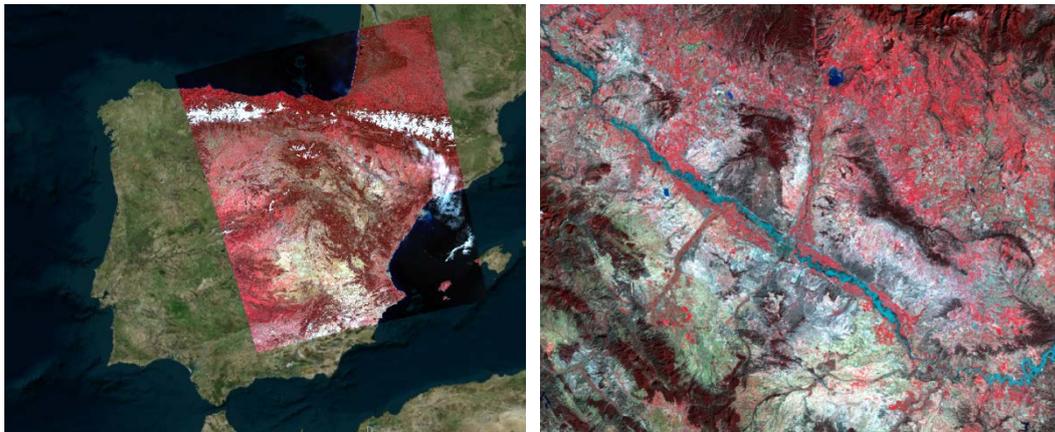


Figura 3. Adquisición Deimos-1 2015-03-06. Detalle del área afectada por inundación

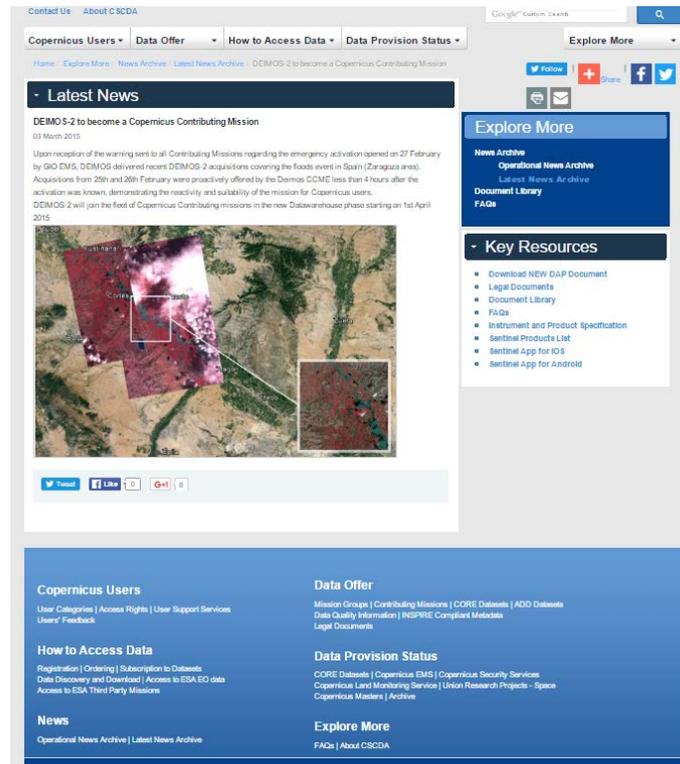


Figura 4. Detalle de imágenes Deimos-2 en la web de European Space Agency

2.3 Metodología para la evaluación de daños tras la inundación

Tras un desastre natural se realiza una estimación de las pérdidas totales ocasionadas para la gestión de la reconstrucción de la zona, habitualmente apoyada por la solicitud de pagos a los seguros o a las ayudas por parte de la administración.

En este apartado se comparan distintas metodologías para la aplicación de la Teledetección a partir de datos adquiridos por satélite para la evaluación del área afectada debido al alcance de las inundaciones de 2015 en la cuenca del Ebro, a partir de datos Deimos-1 y Deimos-2. Como se ha comentado en el apartado anterior, durante el evento se adquirieron sucesivas imágenes sobre la zona de forma que se fue alertando progresivamente de su evolución.

Para la estimación del área afectada se van a aplicar las técnicas de clasificación de imágenes. Este proceso consiste en la extracción de ciertas características comunes en una categoría de imágenes, para su posterior clasificación en una de las distintas clases posibles con el objetivo de obtener una capa temática de inundación. Es decir, se trata de convertir niveles digitales (ND) continuos y medidos por un sensor a una escala nominal de forma que cada píxel pertenece a una categoría definida previamente (Yébenes A. y Giner A.)

La clasificación digital comienza con la definición de las categorías que se pretenden discriminar en la imagen. Se trata de una clasificación basada en los valores numéricos. Por lo tanto se trata de obtener el rango de valores que identifica a cada categoría para cada una de las bandas que intervienen en la clasificación. Las distintas categorías se definen por el valor medio y la dispersión de un conjunto de valores próximos entre sí. Por esto la fase de entrenamiento trata de definir con rigor cada una de las categorías que se pretenden distinguir teniendo en cuenta su dispersión en la zona de estudio mediante la delimitación de una muestra de píxeles que representen adecuadamente a cada una de las clases. A partir de estas muestras se determinan el valor medio de cada clase y el rango en el que varían, para todas las bandas que intervienen en la clasificación. Todos los cálculos posteriores se basan sobre las muestras seleccionadas para cada una de las clases por lo que los resultados de la clasificación están mucho más condicionados por la definición previa de las categorías que por el método de clasificación elegido.

Los métodos de clasificación se pueden clasificar en dos grupos: supervisado y no supervisado. El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno del cual se seleccionan las muestras para cada una de las diferentes categorías; pero en cambio, en el método no supervisado, no se establece ninguna clase a priori sino que busca automáticamente grupos de valores espectrales homogéneos en la imagen de manera que el usuario fija el número de clases que desea establecer para después encontrar las correspondencias entre esos grupos seleccionados automáticamente y las categorías que le puedan interesar.

2.3.1 Método supervisado

Este método de entrenamiento requiere de un conjunto de clases conocido a priori delimitadas sobre la imagen de manera que sean representativas de las distintas categorías que se pretenden discriminar. Esto debe ser interpretado como que "no es inmediato su ejecución en el tiempo" y no debería ser utilizado en un Servicio 24/7.

Estas áreas son conocidas son los "training fields" (áreas de entrenamiento) ya que sirven para entrenar al clasificador y que así pueda reconocer las distintas categorías que se buscan, en este caso, áreas inundadas o no inundadas. A partir de estas áreas el clasificador calcula los diversos parámetros estadísticos de los ND que definen cada clase considerada, para luego clasificar el resto de píxeles en una categoría determinada atendiendo a sus ND. Los parámetros estadísticos dependerán del clasificador seleccionado.

Resulta adecuado seleccionar varias áreas de entrenamiento por clase de forma que se considere correctamente su variabilidad en la zona de estudio. Una vez acabada la selección de las áreas de entrenamiento, el clasificador debe proceder a calcular las estadísticas elementales de cada categoría: media, rango, desviación típica, matriz de varianza - covarianza, etc., a partir de los ND de todos los píxeles incluidos en el área

de entrenamiento de dicha clase. Este cálculo es aplicado a cada banda espectral. Las medidas extraídas a partir de los ND de cada área de entrenamiento definen a cada clase; por lo tanto es muy importante su correcta selección ya que de otro modo se forzaría al proceso a clasificar áreas heterogéneas, lo que implica analizar los estadísticos de cada categoría. Para que no suceda esto, en el caso de las inundaciones se han escogido puntos de control de clases de agua que se creían diferentes por el aspecto visual de los píxeles.

Para llevar a cabo la clasificación supervisada, primeramente se definirán las áreas de entrenamiento definidas dentro los siguientes grupos. Figura 5

- **Zona inundada o agua:** donde se tenía claro que era el cauce del río Ebro o zona inundada por la crecida
- **Zona con vegetación:** zonas con algún tipo de vegetación (campos de cultivo, matorrales, etc.).
- **Zona árida:** zonas con cobertura vegetal reducida o casi ausente

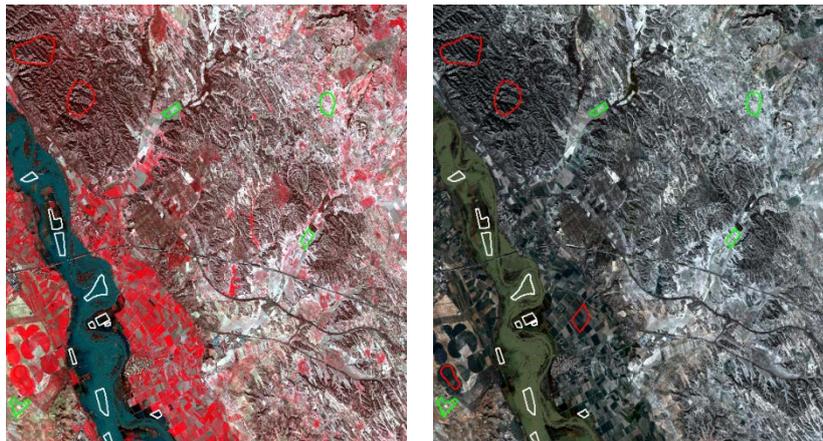


Figura 5. Selección de áreas de entrenamiento en composición Falso Color y Color Verdadero Deimos-2

El tipo de clasificador supervisado aplicado es el paralelepípedo, donde se fija una zona de influencia para cada categoría teniendo en cuenta sus valores de centralidad y dispersión definiendo una serie de rectángulos. Cada píxel será asignado a una clase si sus ND's están dentro del rectángulo correspondiente a esa clase, para todas las bandas de la imagen que quieren ser consideradas en la clasificación. El píxel p será atribuido a la clase X si sus ND's en las distintas bandas ($ND_{x,n}$) están incluidos en el área de influencia de esta clase:

$$ND_{x,n} - R_{x,n} \leq ND_{p,n} \leq ND_{x,n} + R_{x,n}$$

para todo $n=1,2,3,\dots,N$ bandas

$R_{x,n}$ = rango de dispersión señalado para la categoría x en cada banda n.

La Figura 6 muestra cómo trabaja este algoritmo: el píxel P1 queda asignado en la clase X1; sin embargo el píxel P2 no está incluido en ningún área de dominio por lo que quedará no clasificado. El píxel P3 se encuentra en una zona de solape entre el dominio de dos categorías por lo que podrá ser considerado aleatoriamente a dos categorías distintas.

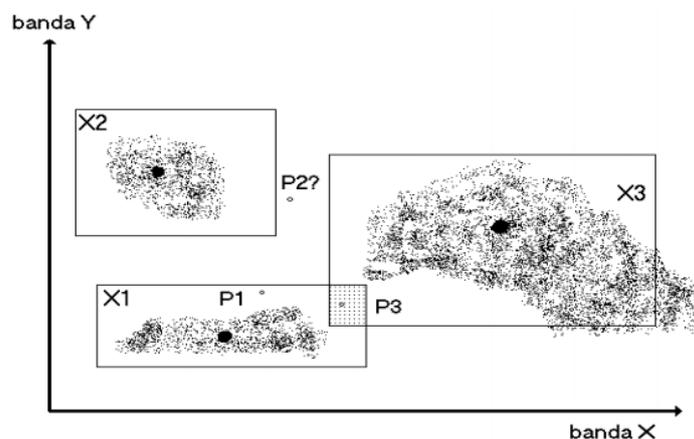


Figura 6. Algoritmo paralelepípedo

El resultado de aplicar las áreas de entrenamiento en la clasificación tipo paralelepípedos a la imagen Deimos-2 se muestra en la Figura 7. Teniendo en cuenta la orografía de la zona, con ayuda de los mapas de elevaciones y orientaciones se consideran falsos positivos las sombras de zonas elevadas clasificadas como zonas inundadas; éstas se sitúan fuera de la ribera natural del río no dando lugar a posibles eliminaciones erróneas.

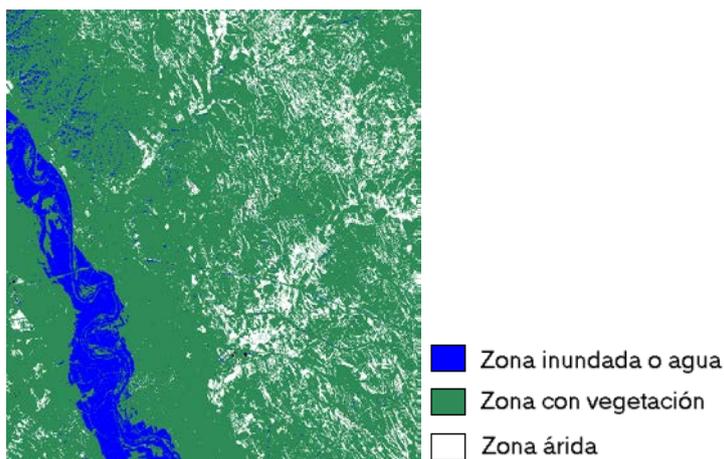


Figura 7. Resultado de clasificación de paralelepípedos aplicado en datos Deimos-2

Para eliminar el efecto sal y pimienta resultado de la clasificación se aplican técnicas de segmentación y filtros promedio contra-armónico. Una vez eliminados estos píxeles,

Figura 8, el resultado final se exporta a formato vectorial shape ESRI por ser el más versátil y manejable a la hora de trabajar con todos los software GIS utilizados en el caso de estudio.

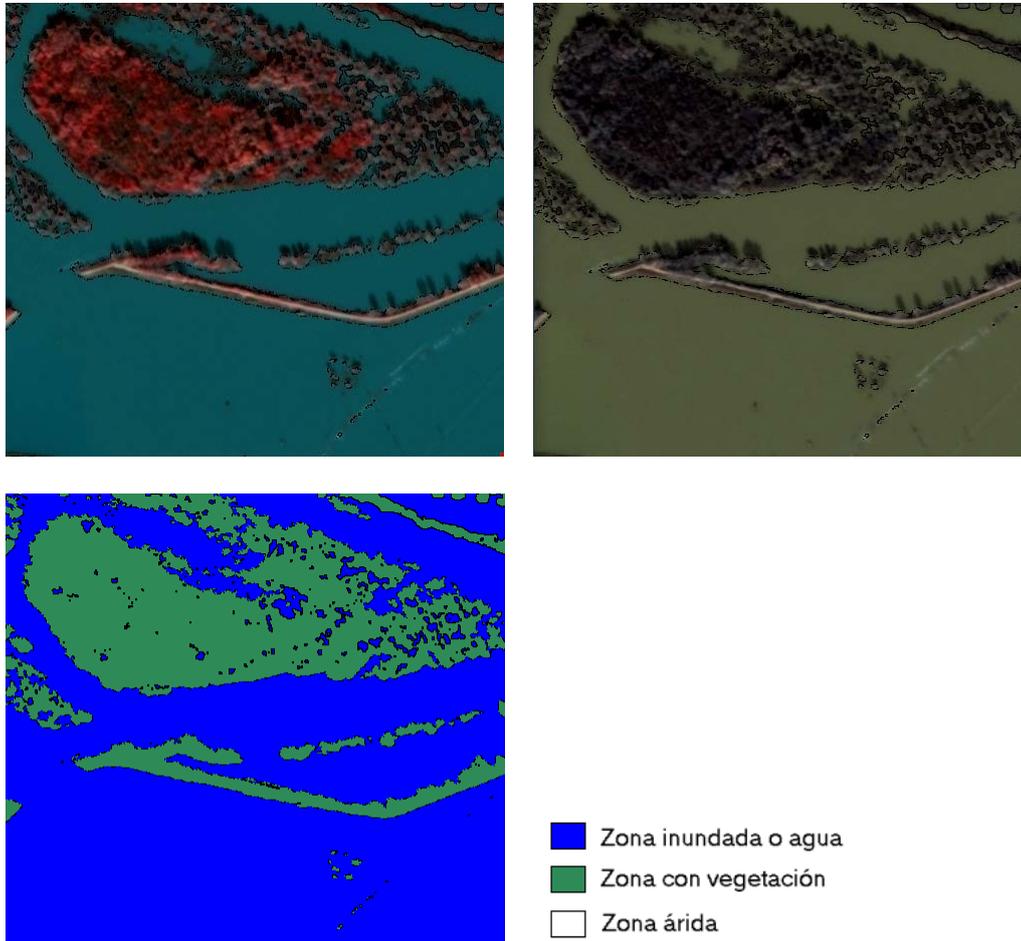


Figura 8. Detalle clasificación final. Falso Color (Arriba izquierda); Color Verdadero (Arriba Izquierda) y resultado clasificación final paralelepípedo (Abajo)

2.3.2 Método no supervisado

En la clasificación no supervisada los píxeles de la imagen se asignan a una clase espectral sin conocimiento previo del área a analizar; no es necesario incluir una interpretación de clases anterior a su aplicación en una imagen. Principalmente el método se lleva a cabo a partir de métodos de agrupación de píxeles con un comportamiento espectral homogéneo teniendo en cuenta todas las bandas espectrales de la imagen. A partir de la determinación del número y la ubicación de las clases espectrales se determinará en qué clase espectral está contenido cada uno de los píxeles. La intervención humana únicamente se centra en la validación de los

resultados, aunque si fuera necesario se tiene la posibilidad de variar el número de iteraciones y de clases espectrales que debe contener la clasificación final de la imagen.

Dentro de la clasificación no supervisada, el tipo más extendido es el ISODATA. En él se calculan las medias de las clases distribuidas homogéneamente de forma que iterativamente agrupa el resto de los píxeles según el criterio de mínima distancia. Cada nueva iteración recalcula las medias de cada clase espectral y las reasigna con respecto a este nuevo valor.

A continuación se muestran los resultados en una imagen Deimos-2 tras aplicar una clasificación no supervisada tipo ISODATA. Las distintas pruebas realizadas han mostrado que los mejores resultados se han obtenido con 15 iteraciones y un número de clases igual a 10.

El resultado, Figura 9, se analiza por parte del usuario de forma que selecciona y reagrupa las clases que representan el área inundada; para el caso de estudio estas clases son representadas en color azul oscuro y blanco. Al igual que en la clasificación supervisada, con ayuda del mapa de elevaciones y de orientaciones de la zona, se eliminaron falsos positivos y se eliminó el efecto sal y pimienta mediante técnicas de segmentación y filtro promedio contra-armónico, obteniendo así los resultados finales, Figura10, de la capa clasificada como zona inundada o lámina de agua.

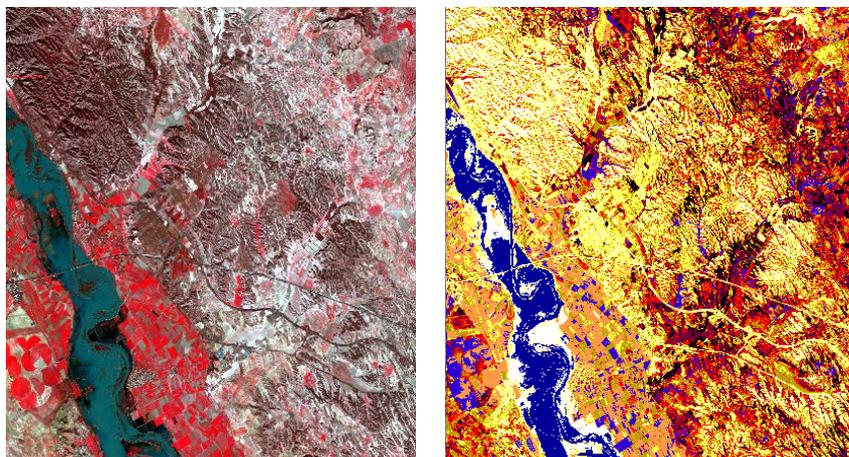


Figura 9. Imagen en Falso Color Deimos-2 (izquierda) y resultado de aplicar clasificador no supervisada ISODATA (derecha)

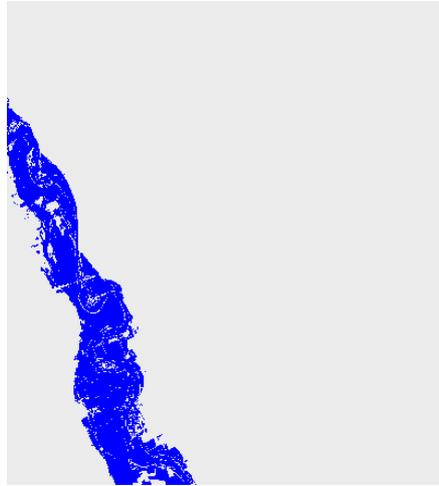


Figura 10. Producto lámina de agua resultado de clasificación ISODATA

2.3.3 Comparación de las estimaciones de área afectada mediante clasificación supervisada y no supervisada

Las metodologías citadas anteriormente se han aplicado en las imágenes Deimos-1 y Deimos-2 capturadas en la zona de la inundación para generar el producto “lámina de agua” pudiendo determinar su extensión y su localización. Por un lado se estimó el área afectada a partir del método supervisado con la definición de áreas de interés en cada una de las imágenes y posteriormente se aplicó el no supervisado. Una comparación de los resultados obtenidos por los distintos métodos fue llevada a cabo para las imágenes procedentes de los satélites Deimos-1 y Deimos-2. Los resultados son mostrados en la Figura 11, 12, 13 y 14.

Deimos-2 proporciona un mayor detalle de las zonas afectadas como parcelas agrícolas, infraestructuras y áreas forestales, donde no se hayan podido obtener datos de muy alta resolución, Deimos-1 complementa esta información pudiendo dar una estimación del área afectada de la zona de estudio.

En la Tabla 1 se comparan los resultados numéricos obtenidos al aplicar los dos tipos de clasificación; en ellos se demuestra que si bien los resultados para ambos tipos de operador son muy parecidos, en el caso de la clasificación no supervisada se obtiene aproximadamente un 3% más de superficie clasificada como agua o zona inundada.

Tabla 1. Comparación de resultados numéricos

	Supervisada (ha)	No supervisada (ha)	diferencia (%)
Deimos-2	13758.27	14198.02	3.10
Deimos-1	18562.00	19186.00	3.25

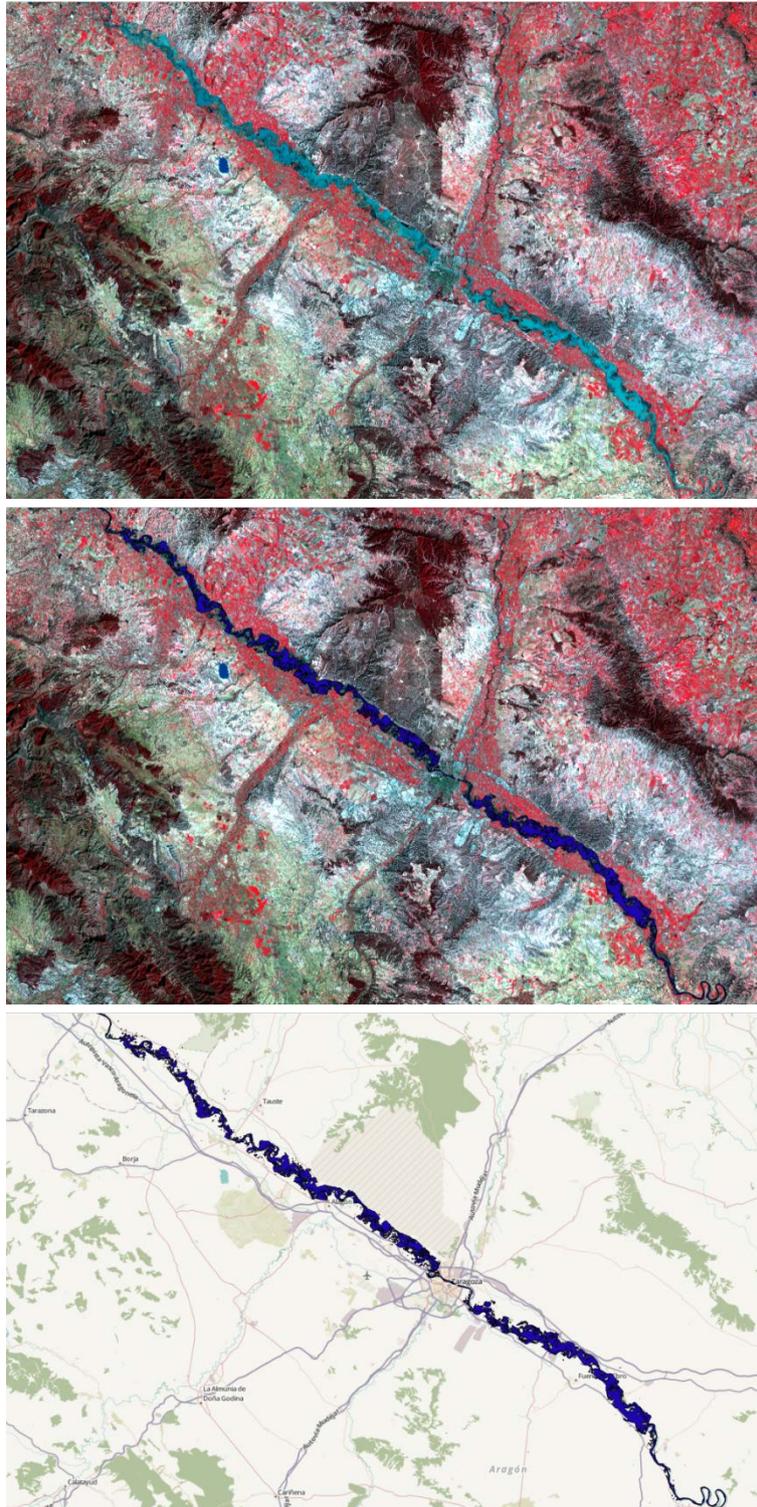


Figura 11. Producto lámina de agua resultado de clasificación supervisada Deimos-1

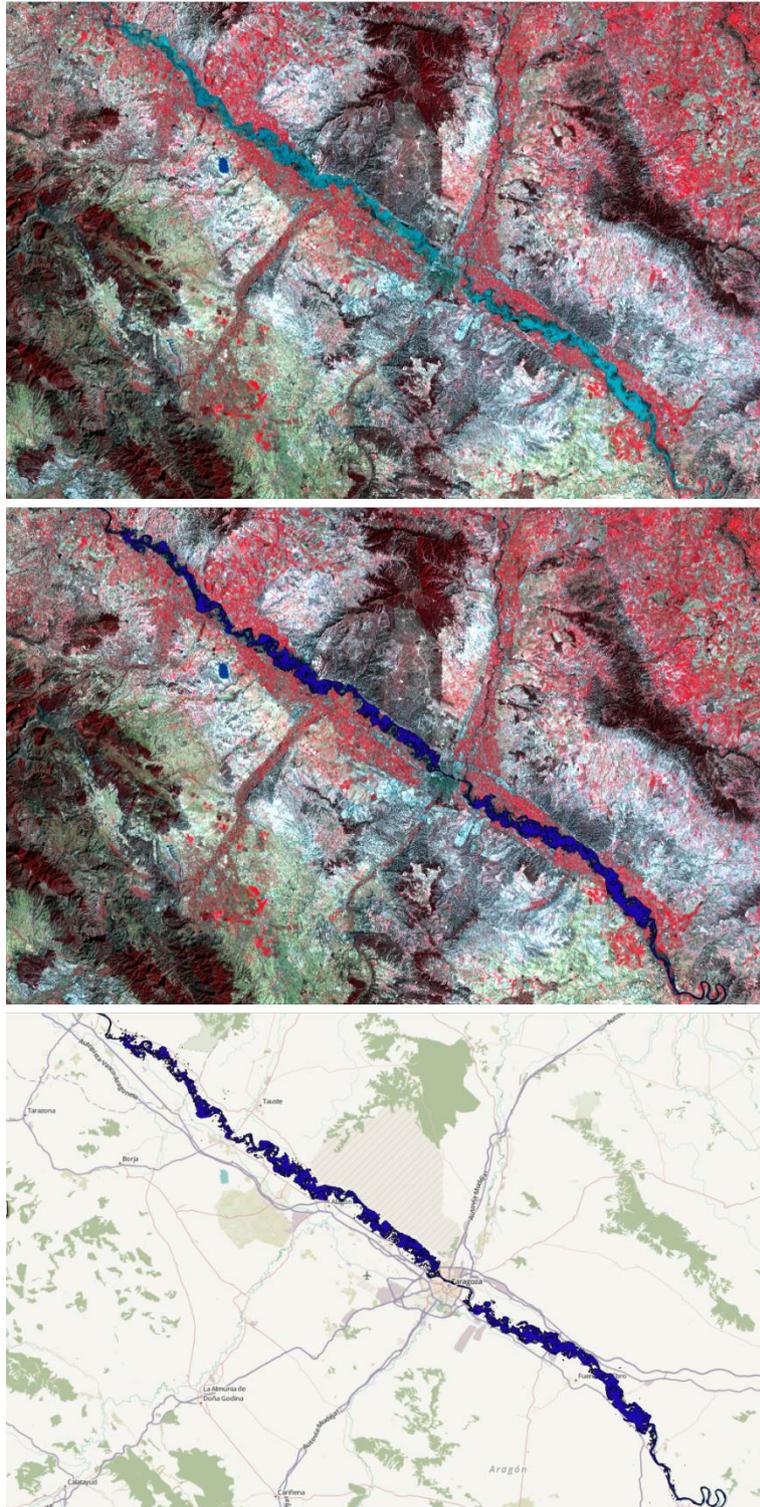


Figura 12. Producto lámina de agua resultado de clasificación no supervisada ISODATA Deimos-1

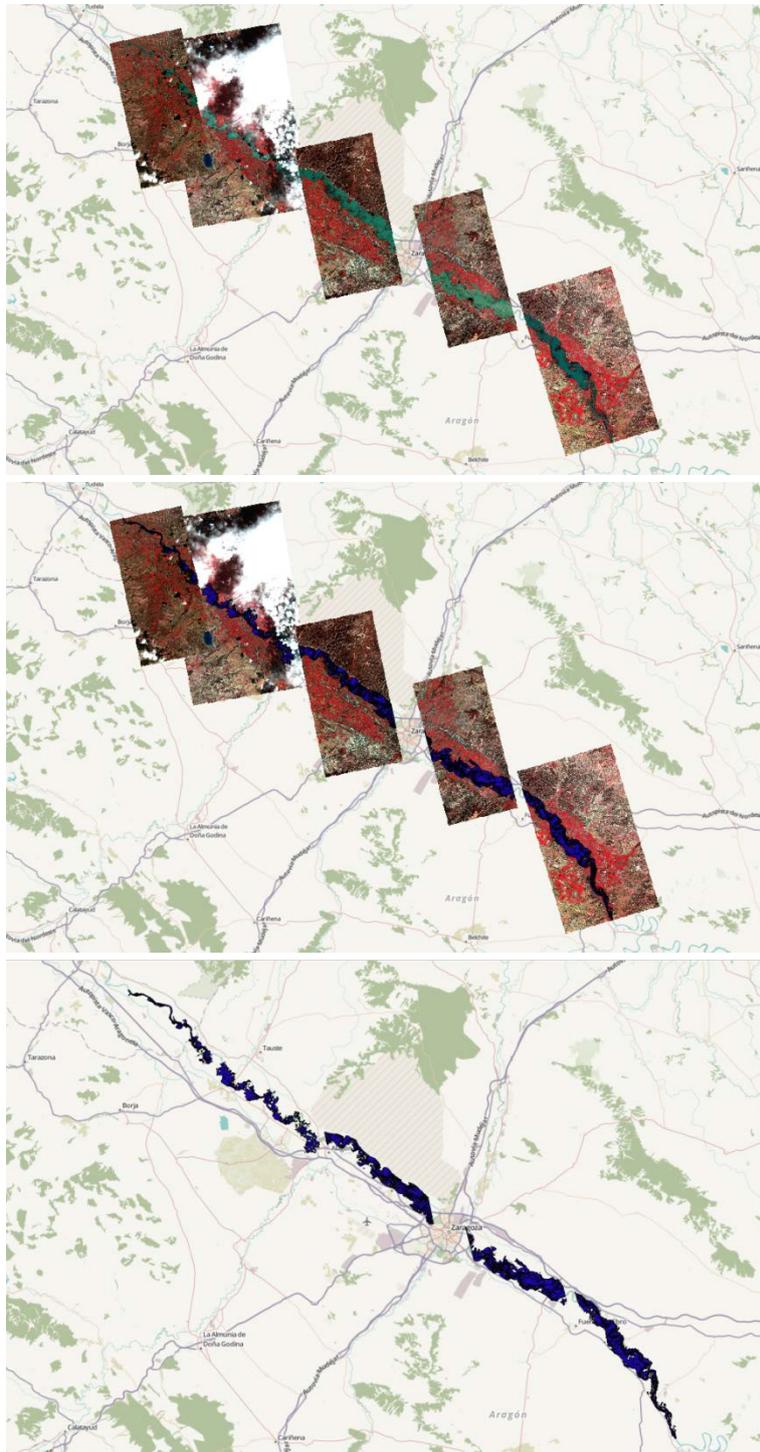


Figura 13. Producto lámina de agua resultado de clasificación supervisada Deimos-2

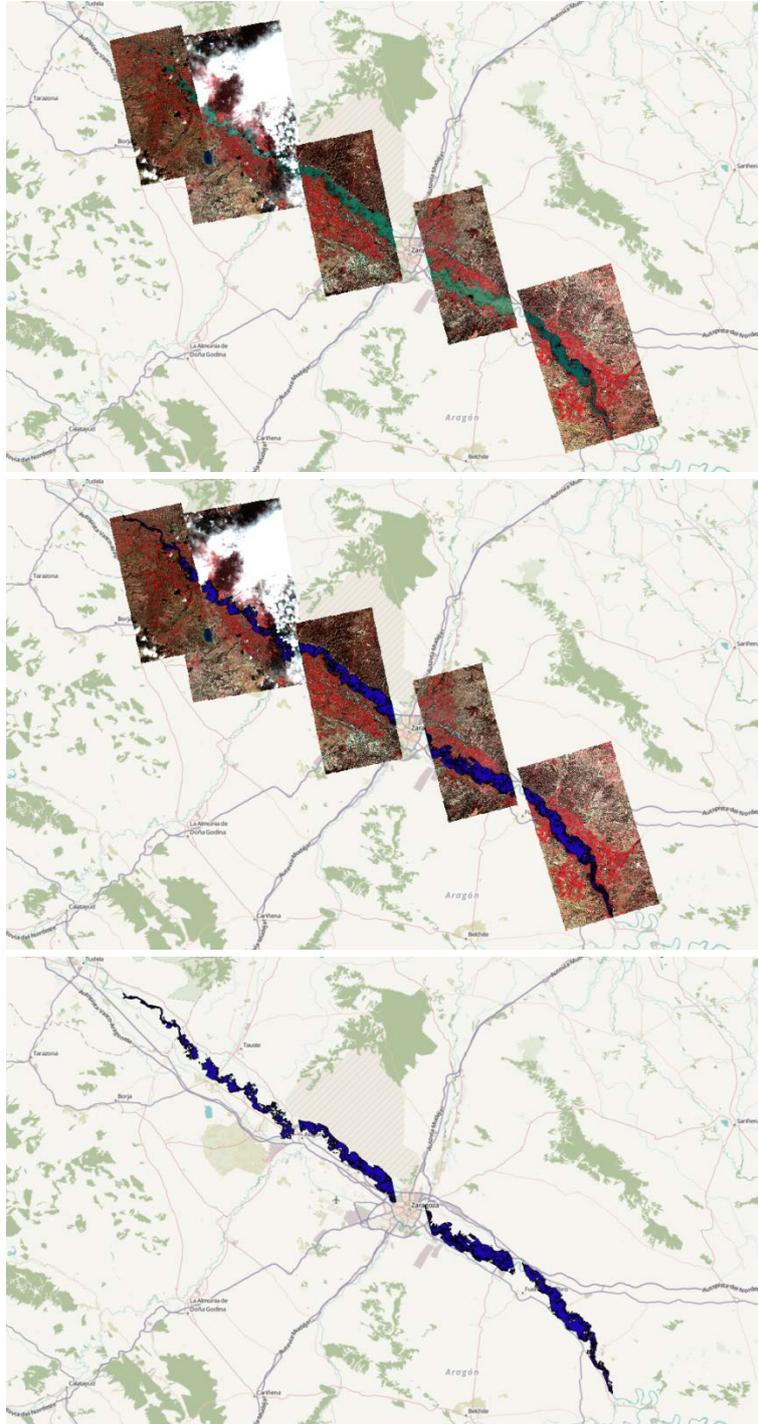


Figura 14. Producto lámina de agua resultado de clasificación no supervisada ISODATA Deimos-2

Las diferencias entre los dos tipos de clasificaciones, ver detalle en Figura 15, donde se ha tomado el valor de la no supervisada como referencia, pueden deberse a las dificultades encontradas a la hora de analizar los resultados como ha sido la presencia de falsos positivos en ciertas zonas debido a su baja reflectividad; un ejemplo de esto son las sombras. Sobre todo las imágenes capturadas en el mes de febrero presentaban zonas cubiertas por nubes-sombras dando lugar a algunos problemas a la hora de llevar a cabo su clasificación.

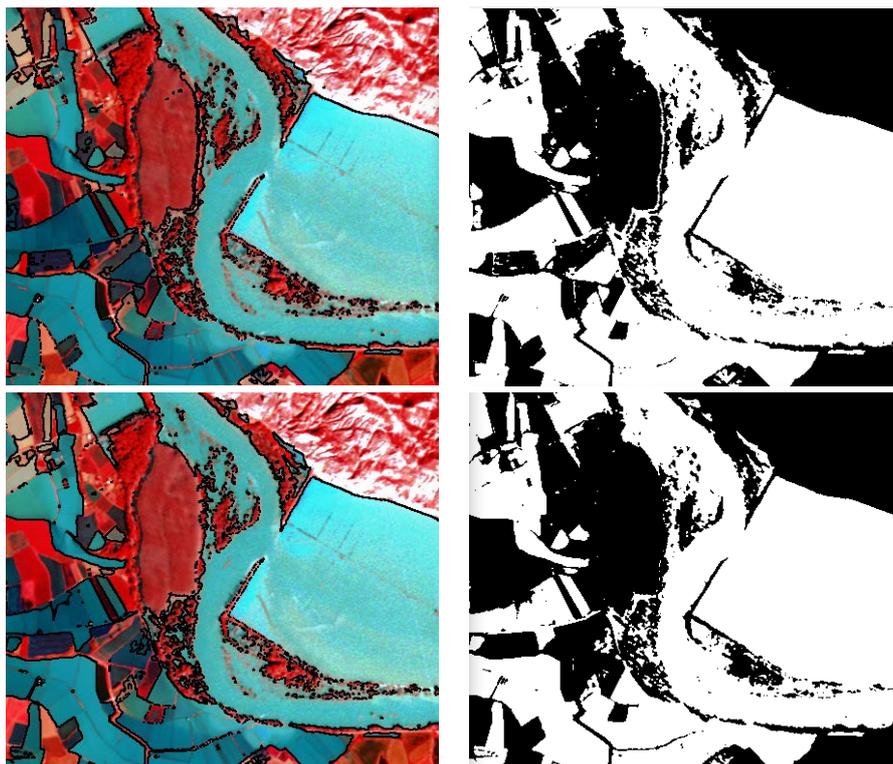


Figura 15. Detalle resultado de clasificación supervisada (arriba) y no supervisada (debajo) en imagen Deimos-2

2.4 Validación

Para validar la calidad de los resultados obtenidos, contamos con los datos históricos de calado o altura alcanzada por la lámina de agua suministrados por SAIH Ebro, Sistema Automático de Información Hidrológica, que se han registrado durante la crecida del río Ebro a lo largo de Febrero-Marzo 2015.

SAIH Ebro cuenta con un elevado número de estaciones situadas en embalses y afluentes para la estimación del aforo en río, canales de riego, pluviómetros y estaciones meteorológicas distribuidas por toda la cuenca del Ebro para su control. Los

resultados de todas las estaciones son procesados, almacenados y explotados en el centro de procesamiento de la cuenca, situado en Zaragoza.

Un aforo, Figura 16, es un sistema de medición que partiendo del nivel del agua, calcula el caudal circulante que pasa por una determinada sección de un río o canal, en la cual, cuando el nivel del caudal del río aumenta o disminuye, el limnómetro accionado por un flotador detecta la variación y envía una señal a la estación que registra estas medidas.

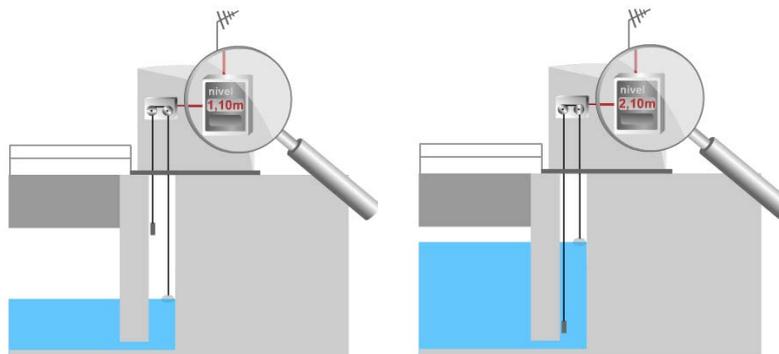


Figura 16. Funcionamiento del aforo

En la Tabla 2 se muestran las estaciones que capturaron los aforos del río Ebro para el periodo de febrero-marzo de 2015 y sus coordenadas. Para la validación, los valores de calado considerados serán aquellos más cercanos a la fecha de adquisición de las imágenes tras la comparación de los datos proporcionados por las estaciones y los datos proporcionados por los satélites Deimos-1 y Deimos-2. Debido a la no simultaneidad de las medidas del calado y las imágenes capturadas por los satélites, se impuso la condición de que el dato del SAIH Ebro ha de ser anterior al dato de satélite y si su coordenada sigue inundada según la imagen, se puede considerar como acierto si la clasificación así lo dice. La Figura 17 muestra la localización de cada una de las estaciones consideradas en la validación.

A partir de la superposición de las capas "lámina de agua" resultado de los distintas metodologías de clasificación aplicadas y las localizaciones de los aforos, datos verdad terreno, se cotejaron visualmente los resultados para analizar la validez de los métodos.

Tabla 2. Localización de las estaciones y valores registrados

ID	FECHA_HORA	ESTACION	NIVEL	X	Y
1	25/02/2015	A285 Rio Ebro Novillas	6.26	633915	4643441
2	26/02/2015	A060 Rio Arba Gallur	3.08	640687	4638693
3	26/02/2015	ZI02 Pradilla de Ebro	2.00	646422	4636196
4	02/03/2015	Q930 Cabañas de Ebro	-----	652625	4628930
5	02/03/2015	A286 Ebro en Alagón	7.35	654911	4628468
6	02/03/2015	A060 Rio Arba Gallur	3.41	640687	4638693
7	02/03/2015	ZI02 Pradilla de Ebro	2.44	646422	4636196
8	02/03/2015	A011 Ebro en Zaragoza	5.96	676533	4614247
9	02/03/2015	A311 Nuez de Ebro	8.81	674928	4616800
10	02/03/2015	E286 Pina Presa	5.55	692741.9	4604771
11	03/03/2015	A286 Ebro en Alagón	6.85	654911	4628468
12	03/03/2015	A011 Zaragoza	5.30	676533	4614247
13	03/03/2015	A311 Zaragoza A-2	7.98	674928	4616800
14	07/03/2015	ZI03 Pina M,I	1.47	706037	4597137
15	07/03/2015	ZI04 Pina M,D	1.98	705379	4596751
16	07/03/2015	E286 Pina	4.66	692741.9	4604771
17	07/03/2015	CH18 Sagstago II	142.40	720605	4577557

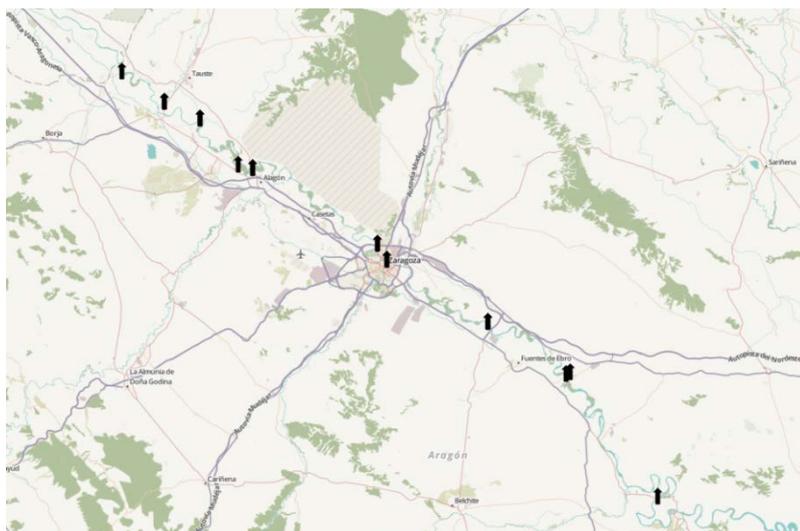


Figura 17. Localización de los aforos considerados en la validación

Tras la validación visual, para Deimos-2 se obtuvo que los resultados, supervisado y no supervisado, en las estaciones de aforo el resultado estaba clasificado como lámina de agua. Solo en dos de ellas no se obtuvieron resultados positivos y tras analizar las imágenes de procedencia se constató la presencia de nubes que impedían dicha clasificación. En la Figura 18 se muestra un ejemplo de la superposición de la capa de lámina de agua con la de estaciones de aforos; la estación situada en la parte más oriental de la imagen está considerada dentro de la capa lámina de agua; por el contrario la localización de la estación situada en la parte más occidental no ha sido incluida en esta capa debido a la presencia de nubes.

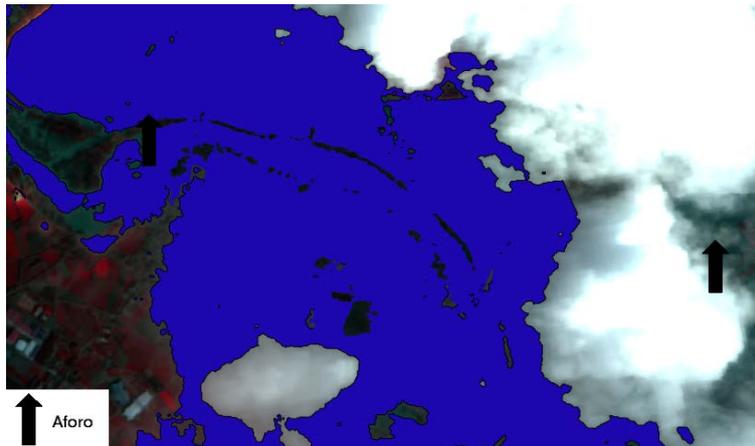


Figura 18. Ejemplo de validación en dos estaciones

Para el caso de Deimos-1 todas las localizaciones, excepto en uno de los aforos, estaban clasificadas como láminas de agua tanto por el método supervisado como no supervisado. En la zona donde no se obtuvo clasificación positiva, Figura 19, y donde solo contábamos con Deimos-1, se pudo clasificar mediante técnicas de fotointerpretación como zona inundada; el número de píxeles afectados es pequeño para ser evaluado por Deimos-1, siendo necesaria la alta resolución de Deimos-2 para resolver áreas afectadas de este tamaño.

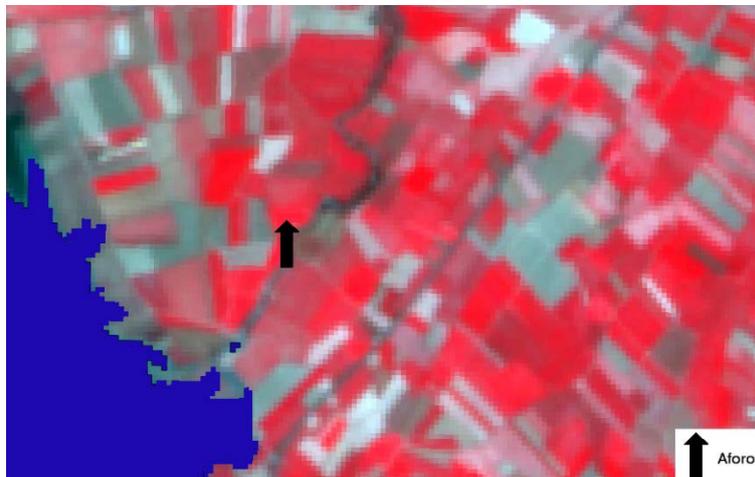


Figura 19. Ejemplo de validación en dos estaciones

Capítulo 3.- ESTIMACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE LA DEFORESTACIÓN EN PAISES TROPICALES

En este capítulo se muestra la Teledetección como una herramienta muy útil para la estimación del impacto ambiental de la deforestación. Para ello se mostrarán los resultados obtenidos dentro del marco del proyecto DEIMES, "Estimación del impacto ambiental de la deforestación en países tropicales mediante la monitorización sistemática por satélite". El proyecto DEIMES se presentó acompañado de una memoria detallada a la convocatoria EEA-Grants a finales de 2013 y tras su consideración y evaluación por parte de CDTI, se concedió en el expediente 00069134/TIC-20130407. (EEA-Grants, 2014).

El objetivo del proyecto fue definir un método estratégico y sistemático que permitiera reducir drásticamente la dependencia de datos in-situ (con las dificultades que implica su obtención) para la monitorización y control de la deforestación y degradación forestal y la consecuente pérdida de ecosistemas fijadores de dióxido de carbono. Los objetivos técnicos del proyecto han sido el desarrollo de algoritmos y metodologías que tomen como base los datos de satélite y permitan:

- La realización de coberturas continuas de áreas de interés predeterminadas mediante la adquisición sistemática de imágenes DEIMOS-1 y el filtrado multiespectral de nubes
- El cálculo de variables para la estimación del impacto ambiental en los ecosistemas
- Proveer mapas de cambio para la evaluación de la deforestación

Como derivación de las tareas llevadas a cabo del proyecto se ha desarrollado el prototipo de un método para la adquisición sistemática de imágenes DEIMOS-1 sobre un área de interés definida, que se ha aplicado con éxito para la obtención de coberturas sistemáticas sobre Paraguay y Tailandia. Estas coberturas de datos han sido la base

3.1 Estudio, definición, diseño y desarrollo de un prototipo para adquisiciones sistemáticas

En este apartado se muestra la metodología para la realización de capturas sistemáticas sobre un área de interés. Para ello se ha estudiado la influencia de las variables meteorológicas y la disponibilidad de recursos (capacidad de almacenamiento del satélite, carga de batería, etc.), así como los posibles riesgos asociados y a partir de esos factores se ha diseñado una estrategia de adquisición sistemática para la obtención de las coberturas de imágenes necesarias para las distintas zonas que abarca el estudio.

Como resultado, se ha definido una metodología general que permite la adquisición sistemática de coberturas continuas sobre un área de interés definida con un grado de repetitividad en la cobertura suficiente para garantizar el éxito en cada periodo definido.

La metodología de adquisición diseñada se basa en la aplicación sucesiva y ocasionalmente concurrente de tres estrategias de adquisición flexibles que permiten dar prioridad respectivamente a la cobertura de grandes áreas, el relleno de huecos en los datos y la mitigación de la influencia de la nubosidad en función de los recursos disponibles y las necesidades del proyecto en cada momento.

Una buena planificación de las capturas es crucial para la obtención de unos resultados de cobertura optimizados. Debido a la persistencia de las nubes sobre las regiones tropicales y sub-tropicales, como Tailandia y Paraguay, es necesario disponer de una predicción de nubosidad lo más actualizada posible de forma que la adquisición óptica del satélite se realice sobre aquellas regiones con menor probabilidad de nubes. Siendo DEIMOS-1 un satélite óptico, las nubes son el único impedimento para conseguir una completa evaluación temporal de las características del suelo.

El conocimiento previo del comportamiento de las nubes sobre estas zonas, tan frecuentes en ellas, es una tarea incluida dentro de la planificación y ha sido el resultado de un análisis exhaustivo de las adquisiciones previas sobre la zona lo que ha permitido minimizar los errores de planificación. Las peticiones sobre dichas zonas se realizan también teniendo en cuenta los recursos disponibles en ese momento a bordo del satélite: con el fin de que el satélite tuviera una mayor capacidad disponible para este objetivo, se definió un pase de descarga anterior que permitiera liberar el máximo espacio a bordo y otro pase de descarga posterior que asegurara que la adquisición se descargaba lo antes posible para evitar posibles interferencias con otras adquisiciones que pudieran resultar en la pérdida de los datos adquiridos.

Al inicio de la cobertura mensual, las adquisiciones se maximizan sobre la zona de la franja observada por el satélite que previsiblemente estará más despejada. A partir de las adquisiciones resultantes, las siguientes capturas tendrán en cuenta no sólo la

previsión de nubes sino también la cobertura actualizada del mes: de esta forma, se priorizará la adquisición de aquellas zonas pendientes de cubrir, intentando volver a adquirir las zonas obtenidas previamente con excesiva nubosidad. De esta manera se consigue no sólo completar la cobertura final del país, sino optimizarla en términos de cobertura nubosa y de repetición de adquisiciones dentro de cada cobertura mensual.

Las nubes son prácticamente opacas a la radiación. Por esta razón la radiación registrada por cualquier sensor de tipo óptico pertenece casi en su totalidad a la cima de la nube, y no a la superficie por debajo de ella. Esto implica que si no se hiciera una discriminación muy precisa de este tipo de cubierta cuando se quiere adquirir la imagen, nos podría llevar, en ciertas situaciones, a registrar información errónea. Con el fin de asegurar la no existencia de nubes sobre Tailandia y Paraguay, se ha de realizar un análisis de la previsión de nubosidad sobre estas zonas de interés, en el día que se va a tomar los datos de satélite y de campo.

Una vez conocida las posibles fechas y con el fin de coordinar el trabajo de planificación y producción de las imágenes, se actualiza diariamente este análisis y se procede a adquirir la imagen DEIMOS-1.

A continuación se muestra un ejemplo de cómo se ha planificado una adquisición Deimos-1 para lo cual, se realiza un análisis de viabilidad de la adquisición de la imagen. En el primer paso se analiza para el día de interés si DEIMOS-1 pasa sobre el área de interés: Tailandia y/o Paraguay. Como se puede observar en la Figura 20, el día 24-02-2015 el satélite DEIMOS-1 sobrevolaba ambas zonas, las cuales son el objetivo del proyecto DEIMES. En adelante el análisis se centrara en la región de Tailandia.

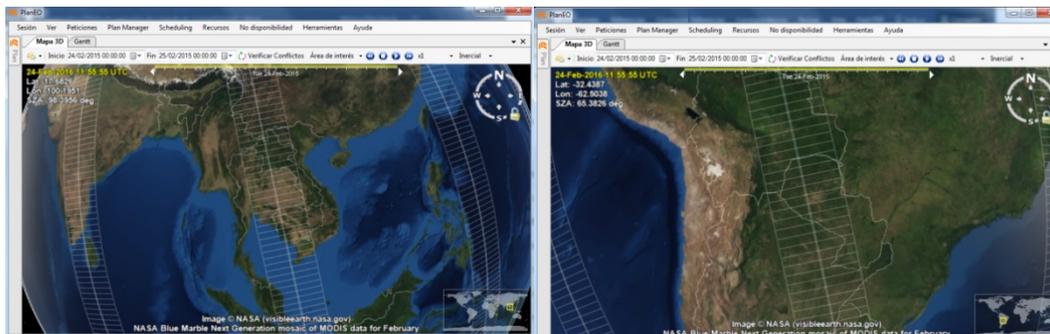


Figura 20. Situación de la órbita del satélite Deimos-1 para el día 24-02-2015

DEIMOS-1 tiene la particularidad de poder definir una parte de su franja observable o swath con el fin de optimizar la adquisición evitando las regiones con más probabilidad de estar nubosas, Figura 21. La planificación realizada, mostrada en color naranja en la Figura 22, se ha definido en el extremo derecho del swath debido a que en esa zona la previsión es totalmente despejada.

Una vez definida el área a capturar y sus parámetros asociados se comprueba que no existe conflicto con otras imágenes planificadas. Si el conflicto existiera, el hecho de haber asignado una prioridad alta a la imagen hace que la captura de la imagen con la que tiene conflicto sea eliminada. Una vez queda confirmado que no existen conflictos, se sube la planificación al satélite DEIMOS-1 el cual llegado el momento realizará la captura de la imagen según se ha planeado.

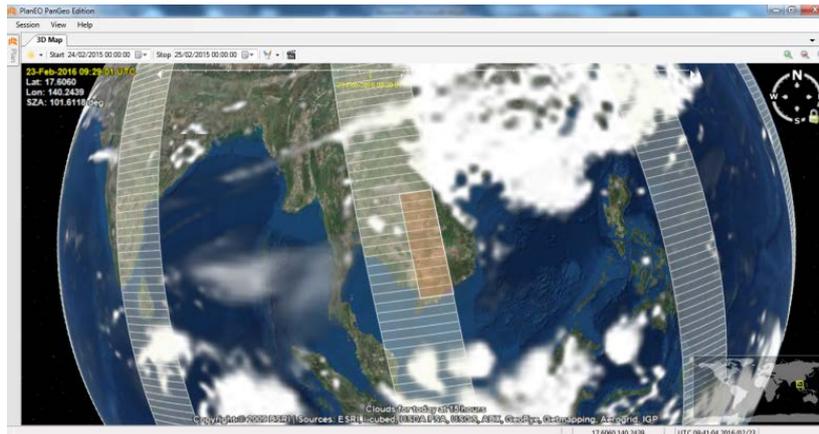


Figura 21. Previsión nubosa y adquisición planificada (naranja) sobre la traza de la órbita de Deimos-1 (blanco) para el día 24-02-2015 sobre Tailandia

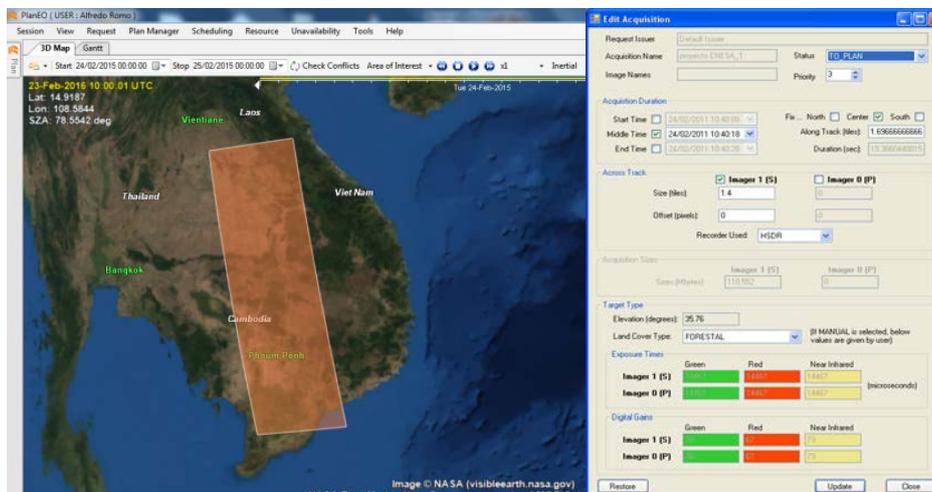


Figura 22. Adquisición DEIMOS-1 planificada para el día 24-02-2015 sobre Tailandia (izquierda). Parámetros asociados a la adquisición (derecha)

3.2 Procesado de las coberturas sistemáticas DEIMOS-1

Tras conseguir las coberturas completas de los países Figuras 23 y 24, se lleva a cabo el procesado.

3.2.1 Definición y desarrollo de algoritmos de filtrado de nubes multi-temporales y multiespectrales

El análisis de la información contenida en las tres bandas espectrales de DEIMOS-1 para cada píxel ha permitido la definición de métodos automatizados para la detección de nubes con muy diversas características en cuanto a densidad y altitud.

Los algoritmos de filtrado de nubes, dado que actualmente los sensores incluyen mayor número de bandas espectrales, se han visto modificados e incrementados en el número de tests que inicialmente tenían. A partir de una revisión de la bibliografía consultando autores como Irish (2000) y Ju (2008) se comprobó que los test a utilizar eran similares a los que ya se usaban, siempre y cuando las misiones contuvieran tres bandas espectrales similares a las de DEIMOS-1.

En dicho estudio se analizaron 12 misiones espaciales y aerotransportadas: SPOT4-XS, CASI (6 configuraciones espectrales analizadas), ATM, Landsat, RapidEye, DEIMOS-1, VNIR-ASTER, ALI, Sentinel-2A, Spot5, Pleiades y Worldview-2. En el 100% de las misiones analizadas, las bandas Red, Green y NIR de DEIMOS-1 existen. Las bandas Red, Green y NIR de DEIMOS-1 son las mismas que las del programa Landsat hasta Landsat 7. Lo mismo ocurre en la misión RapidEye. En un 60% de las misiones analizadas, las bandas Red, Green y NIR del DEIMOS-1 son idénticas o casi idénticas. Un 58% de las misiones analizadas tienen banda Azul (7 de 12), mientras que un 33% de las misiones tiene banda Red Edge (4 de 12).

Por tanto, los tests a realizar se muestran a continuación:

- Grupo 1: (NIR + RED + GREEN)
 - Valor Test 1 > U1 Probabilidad igual a 0
 - U1 > Valor Test 1 > U2 Probabilidad igual a 1
 - U2 > Valor Test 1 > 0 Probabilidad igual a 2

- Grupo 2: (NIR-RED)/(NIR+RED)
 - Valor Test 2 < U1 Probabilidad igual a 1
 - Valor Test 2 > U1 Probabilidad igual a 2

- Grupo 3: (NIR+RED+GREEN)/(NIR/GREEN*GREEN)
 - Valor Test 3 > U1 Probabilidad igual a 0
 - U1 > Valor Test 3 > U2 Probabilidad igual a 1
 - U2 > Valor Test 3 > 0 Probabilidad igual a 2

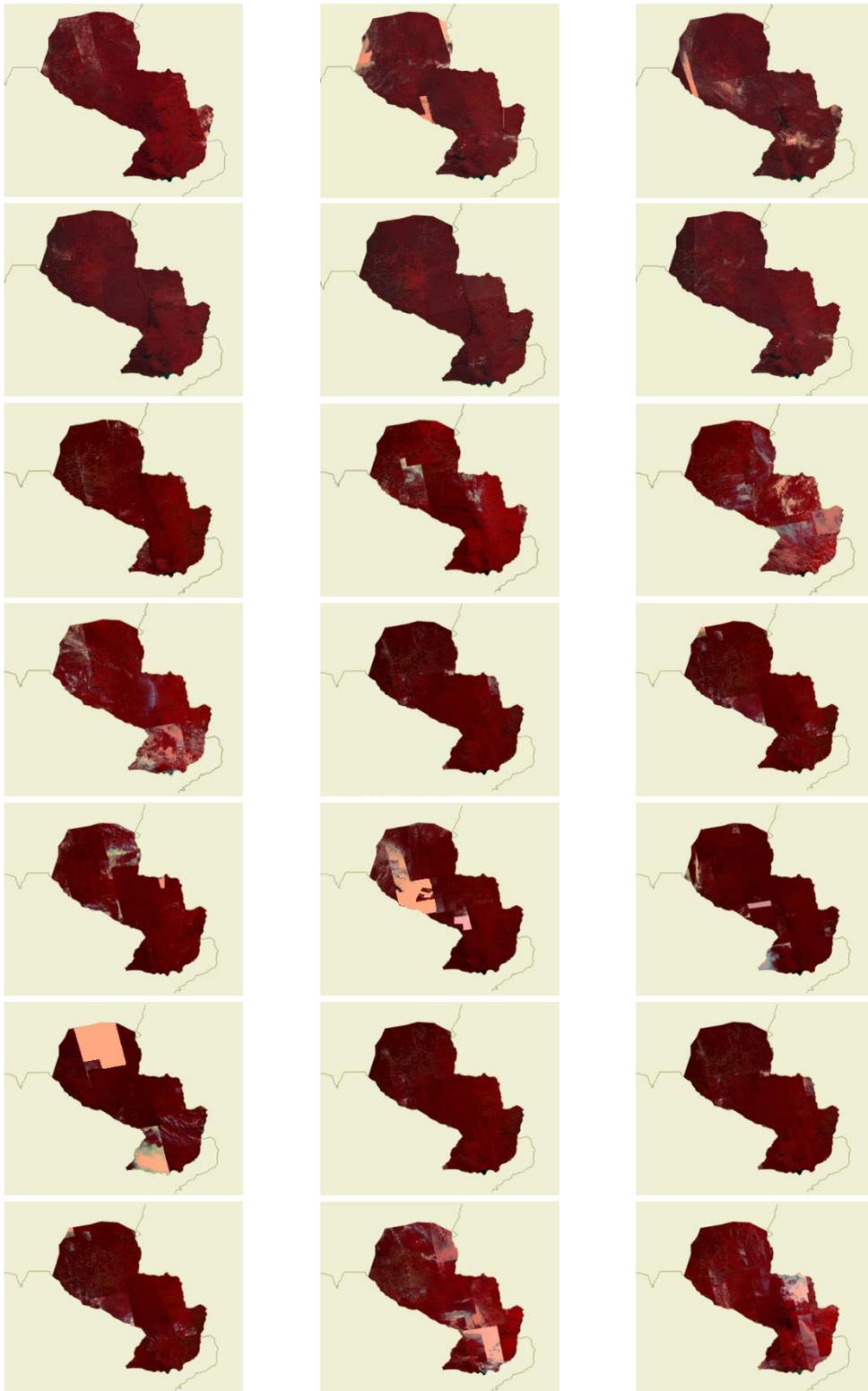


Figura 23. Coberturas mensuales Paraguay abril 2014-diciembre 2015



Figura 24. Coberturas mensuales Tailandia abril 2014-diciembre 2015

Las bandas NIR, GREEN y RED corresponden a las 3 bandas del sensor SLIM 6 del DEIMOS-1 y dependiendo del valor de cada uno de los test, se le asigna una probabilidad igual a 0, 1 o 2. El criterio de fusión del conjunto de test es la suma.

A continuación, en la Figura 25, mostramos un ejemplo de la salida del algoritmo.

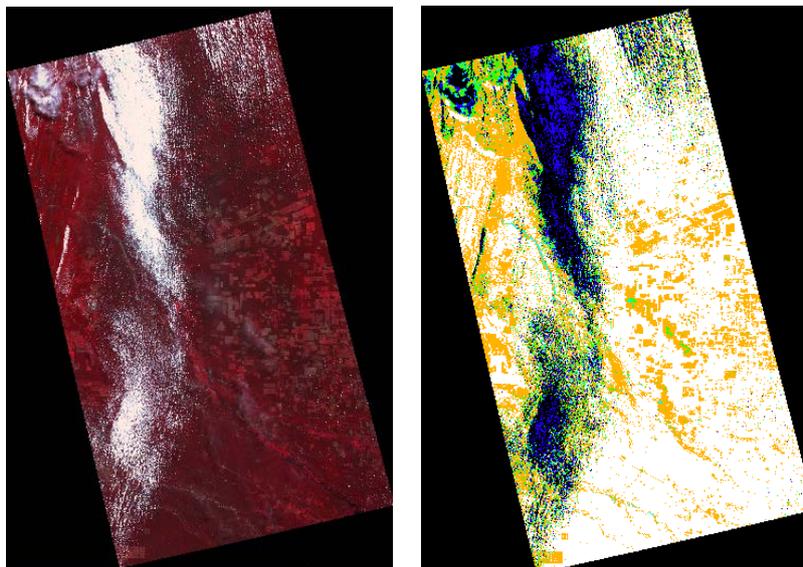


Figura 25. Resultado obtenido al aplicar el algoritmo de nubes sobre datos DEIMOS-1

3.2.2 Definición metodológica para la restitución de falta de información

La amplia serie temporal obtenida en el marco del proyecto y la repetitividad proporcionada por el método de adquisición de imágenes desarrollado han permitido suplir la falta puntual de información debida a la presencia recurrente de nubes.

Los métodos de restitución han exigido la multitemporalidad de la información para dar como resultado estimaciones fiables a partir de los datos disponibles, lo que ha hecho especialmente destacable el aprovechamiento eficiente de la capacidad de adquisición de DEIMOS-1 y la obtención sistemática de coberturas completas sobre el área de interés.

Para describir este procedimiento de restitución, hay que comenzar por el procesado de los datos DEIMOS-1 adquiridos. La Figura 26 muestra en forma de diagrama, los procesos definidos dentro de la cadena de procesado de los datos DEIMOS-1 hasta llegar a obtener el índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, en adelante NDVI o índice de vegetación.

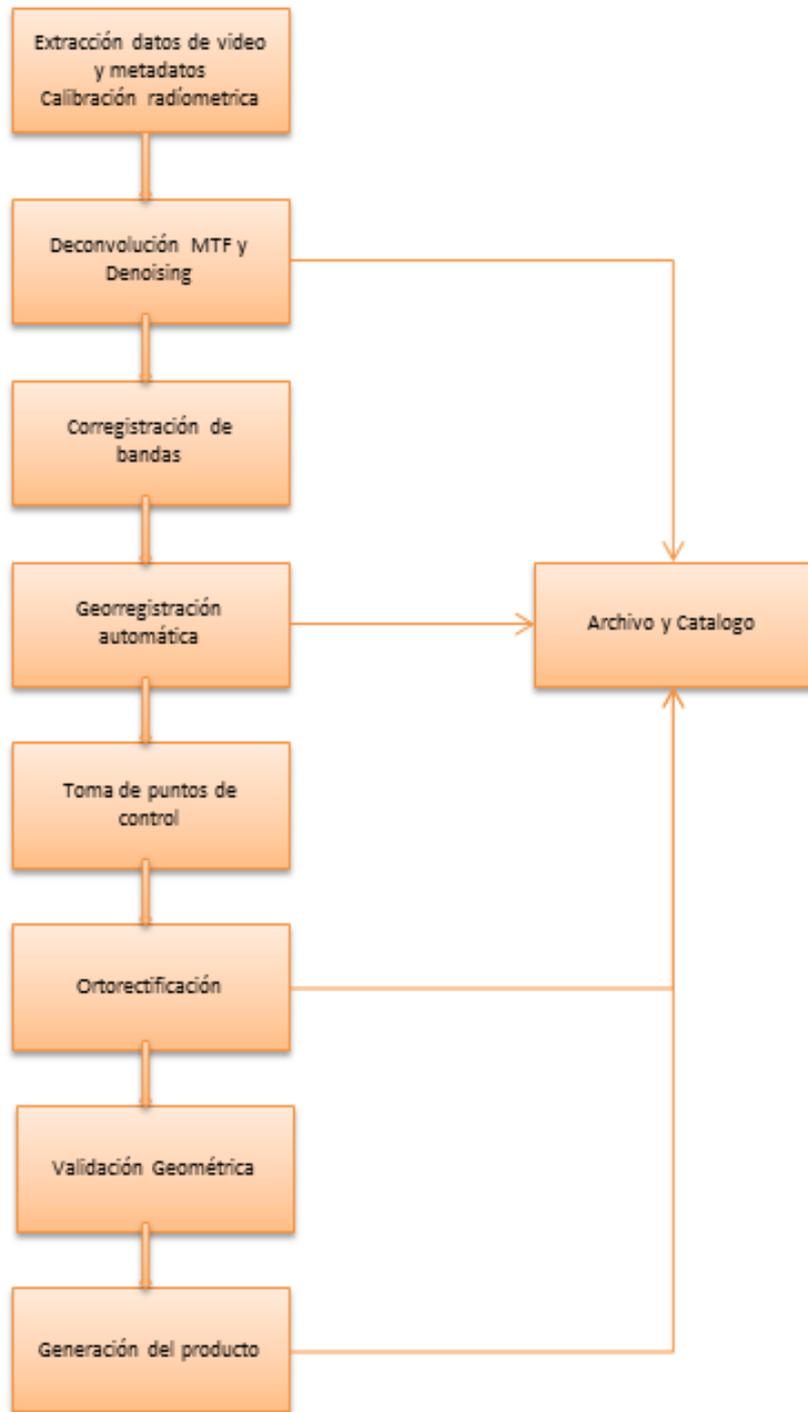


Figura 26. Cadena de procesado de datos DEIMOS-1

Las imágenes adquiridas por el satélite DEIMOS-1, una vez descargadas desde el satélite a la estación terrena, se someten a diferentes etapas de procesado hasta llegar a conformar un producto utilizable. La generación de cada nivel de procesado se realiza secuencialmente tras ejecutar diferentes etapas que se describen brevemente a continuación:

- Corrección radiométrica. Este proceso permite que cada píxel pueda ser convertido, individualmente, en la magnitud física analógica que originalmente fue registrada por el sensor. Esto es necesario debido a que cada dato analógico es convertido en digital y es almacenado en forma de imagen. Por tanto, este proceso convierte la imagen de "Digital Level" o niveles de gris a la magnitud de radiancia ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu$).

Esta conversión se practica a través de una Look Up Table (LUT), definida a través del proceso de calibración y que se revisa cada 6 meses con el fin de conocer el estado de degradación de cada cámara. En el caso de que esto ocurra y con el fin de asegurar la calidad de los datos, estas LUT son actualizadas.

- Georreferenciación. A partir de los datos telemétricos del satélite, se navega a la imagen de manera que es conocida la posición del satélite y por tanto la coordenada en tierra adonde apunta en ese momento. Esto es posible hacerlo a través de la información auxiliar de los giróscopos y del GPS a bordo del satélite. Sin embargo, este conocimiento no es todo lo exacto que debería de ser y proporciona un error de apuntamiento que ha de ser corregido mediante un proceso manual llamado orto-rectificación.
- Co-registración de las bandas. Debido al diseño de la cámara SLIM6, 6 cámaras independientes alineadas 3 a 3, se hace obligatorio el proceso de co-registración. Debido a la independencia de las cámaras este proceso elimina las siguientes fuentes de distorsión geométrica de la imagen:
 - Geometría del sensor
 - Distorsión producida por las lentes
 - La curvatura de la Tierra
 - Rotación de la Tierra
 - Altitud del Vehículo espacial
 - Apuntamiento de la nave espacial

Mediante este proceso se logra que tres cámaras deslocalizadas y que han proporcionado 3 imágenes en 3 momentos diferentes, se las localice teniendo todas ellas el mismo origen y simulando que las 3 han sido tomadas instantáneamente.

- Orto-rectificación. El proceso de orto-rectificación es un proceso a ejecutar en dos fases:
 1. La recogida de puntos de control o GCP. Consiste en la recogida manual de puntos de control sobre una referencia orto-rectificada estándar y un modelo digital del terreno. Este proceso es similar a realizar un levantamiento de puntos sobre el terreno, pero en este caso sobre una imagen de satélite. A través de la referencia estándar se conocen la "x" y la "y" y a través del DEM se conoce la "z". Los GCP proporcionan un preciso modelo de imagen que permite el paso al siguiente nivel de procesado. Este modelo es producto de la unión del modelo de sensor y de los GCP y produce un modelo muy preciso de lo que el satélite ha sufrido durante la adquisición de la imagen
 2. La rectificación de la imagen es el proceso por la que se le asigna propiedades de mapa a la misma. El resultado final del proceso es la orto-rectificación del producto, obteniendo el producto L2T rectificado a una proyección definida.

El proceso de orto-rectificación es flexible, permitiendo que la recogida de GCP se pueda realizar usando datos y DEM's de referencia que no sean los prefijados, quedando el producto L2T (final) rectificado a cualquier proyección solicitada.

- Estimación de la reflectividad. El proceso de reflexión que sufre la radiación solar cuando alcanza la superficie puede ser especular, en el límite entre dos medios de índice de refracción distinto. Esta especularidad está ligada al índice de refracción y al ángulo de reflexión. Por lo general, la reflexión nunca es especular pura, teniendo un grado de difusión dependiente de la rugosidad de la superficie. En virtud del grado de difusión, la superficie se la puede considerar lambertiana, pseudo-lambertiana, difusa o pseudo-difusa.

El recorrido de visión del sensor SLIM-6 del DEIMOS-1 introduce efectos geométricos importantes en la estimación de los índices espectrales como el NDVI, ya que el ángulo de visión cambia de 0° a más de 24°; y el ángulo de iluminación puede variar a lo largo del año más de 20°. Esta es la razón por la que se ocasionan efectos importantes en el cálculo de los valores de los índices espectrales que requieren ser minimizados.

Esta minimización pasa por estimar una magnitud física absoluta como es la reflectividad. La ecuación para el cálculo de la reflectividad se muestra en la siguiente ecuación.

$$\rho_{\lambda} = \left(\frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos\theta_s} \right)$$

Para su cálculo se necesita conocer la irradiancia solar extraterrestre de las bandas espectrales DEIMOS-1, el ángulo cenital solar de iluminación de cada píxel correspondiente al momento de adquisición de la imagen y la distancia Tierra-Sol del día como factor corrector de la irradiancia solar extraterrestre.

- Estimación del NDVI. Este se estima a través de la reflectividad registrada en la banda espectral del rojo y del infrarrojo. En general, los índices de vegetación se basan en la existencia de una "línea de suelo" en el espacio definido por las bandas del VIS y NIR, es decir, hay un eje principal de variación que pasa por el origen y va aumentando a medida que lo hace la reflectividad. El NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) es el índice de vegetación más ampliamente utilizado en la literatura de teledetección. Su expresión matemática corresponde a una combinación de la reflectividad de las bandas VIS y NIR, mencionadas anteriormente. (Rouse et al, 1974).

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}}$$

Para su cálculo (Figura 27) se supone que la superficie se comporta de forma uniforme, sin efectos direccionales.

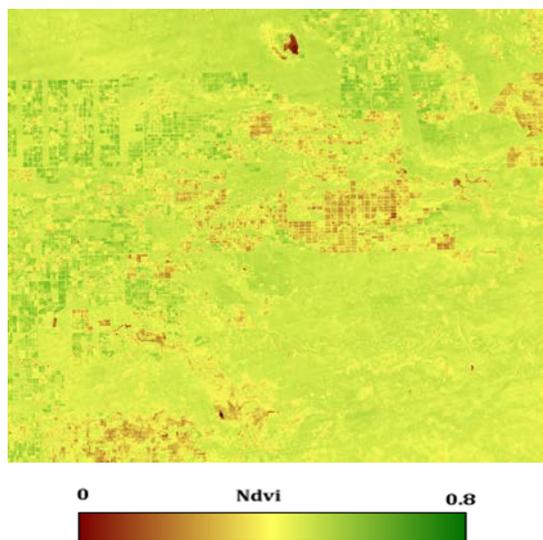


Figura 27. Mapa de NDVI de un área localizado en Paraguay 04/07/2014

En el análisis de las variables para la estimación del impacto ambiental en los ecosistemas utilizadas a lo largo del proyecto DEIMES interviene el índice espectral NDVI, ya que se apoyan en estudios que evalúan la evolución temporal del vegetal o el

cambio sufrido por la vegetación. La restitución de la información, necesaria debido a factores como la presencia de nubes, se realiza sobre dicho índice. Para ello la representación tiene lugar con los valores de NDVI frente a unidades temporales, y en este proceso se necesitan tener en cuenta varias consideraciones:

- Consideraciones por anisotropía de la iluminación. En el proceso de obtención del NDVI intervienen tomas de imágenes con diferentes ángulos de incidencia del sol-objeto-sensor. Estos factores generan una anisotropía de iluminación que afecta el valor de NDVI.
- Consideraciones por efecto atmosférico. La atmósfera degrada el NDVI al disminuir el contraste entre la banda roja y la infrarroja debido a la atenuación de la banda infrarroja en la atmósfera por su contenido en humedad, gases, aerosoles y contaminantes en general.
- Presencia de nubes y sombras de nubes en las imágenes.
- Durante los casi dos 2 años de proyecto DEIMES se ha necesitado un mes para lograr un compuesto de imagen libre de nubes.
- Ruido por la reflectancia del suelo de la vegetación. El NDVI es extremadamente sensible a la reflectancia o al brillo que existe bajo el dosel del bosque. Se utiliza el operador máximo para minimizar este problema.
- Efecto del tratamiento de los datos o saturación del NDVI. No se realiza ningún mejoramiento radiométrico en las imágenes para evitar la degradación de la información.
- Aspectos fenológicos de la vegetación. Dado que estamos utilizando datos de todo un año, es posible encontrar diferencias en los valores de NDVI que son cambios reales o naturales de la vegetación anterior y no requieren de tratamiento alguno.

Teniendo en cuenta lo anterior, si el NDVI es representado en ordenadas versus el tiempo en abscisas y se observa una inestabilidad en los datos representados, esto se debe a:

- La composición variable de la atmosfera de un día para otro, la cual es imposible de conocer.
- Variación del ángulo de observación de un periodo para otro y del camino óptico que recorre la señal desde la superficie hasta el satélite, que es cambiante por lo que la señal se ve atenuada.

- Los distintos tipos de nubes que se encuentran a lo largo del camino óptico. En ocasiones no son bien eliminadas debido a una deficiente asignación del algoritmo de nubes y esto hace que el dato medido por el satélite esté contaminado.

Debido a los problemas anteriores y a las discontinuidades que se pueden observar, los datos son restituidos mediante el algoritmo "Double-4253H" (Savitzky y Golay, 1964). Este método de suavizado se aplica, independientemente, a cada uno de los píxeles que componen una imagen.

Se trata de una combinación de filtros que sustituye el valor de cada dato por la suma del 50% de su valor y el 25% de los dos datos próximos que le rodean, y un filtro de medias, que sustituye el valor del dato considerado por la media de un número determinado de variables que le rodean. De esta manera se consiguió eliminar las frecuencias altas, afectando apenas a las frecuencias bajas. Así se logra eliminar el ruido que presentan las curvas de evolución del índice de vegetación, sin dañar a los importantes cambios en amplitud que representa el crecimiento vegetal.

Los números que aparecen en el nombre del algoritmo indican el número de puntos cercanos de la serie que se usan para cada elemento de la serie de datos de entrada. El suavizador 4253H, primero filtra los datos usando el valor medio de los valores medios de los cuatro, dos, cinco y tres datos que rodean cada elemento de la serie. El "H" de la palabra inglesa "hanning" que significa, sistema de los pesos y que consiste en atribuir los coeficientes 0.25, 0.5 y 0.25 al punto en cuestión y a los dos cercanos que le rodean. La palabra "Double" significa dos veces; está utilizada por la siguiente razón: después de filtrar los datos cuatro veces utilizando el filtro con los rangos (4, 2, 5, 3), se filtra la segunda vez con el método de media móvil. El primero y el último valor de la serie no pueden estar suavizados de la misma manera que el resto de los datos porque no están rodeados por otros valores. Esta técnica elimina las fluctuaciones y da un mayor sentido físico al ciclo anual de la vegetación en comparación a otros métodos analizados antes de tomar una decisión de que método desarrollar. Además, esta técnica permite comparar de una manera más clara la evolución de la vegetación año tras otro y observar los cambios que sufre la cobertura vegetal por causa de los cambios meteorológicos.

Las Figura 28 muestra ejemplos, donde si el píxel ha estado contaminado por nubes y aparece sin valor (línea azul), es restituido por el algoritmo (línea rosa) en la que sí que tiene valor.

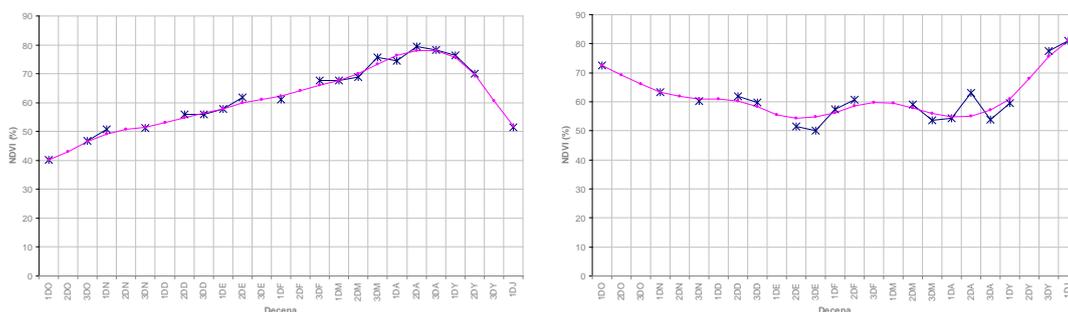


Figura 28. Representación de los valores de NDVI en % sin suavizar y suavizados correspondientes a 2 píxeles

3.2.3 Definición metodológica para la eliminación de inconsistencias temporales

Se ha minimizado en la medida de lo posible la aparición de inconsistencias temporales mediante la adquisición constante de imágenes sobre las zonas de mayor nubosidad persistente de las áreas de interés y su entorno inmediato.

Gracias a la repetitividad de la cobertura se han obtenido datos detallados del estado fenológico de la vegetación, pudiendo así realizar estimaciones fiables sobre el estado de la misma en las áreas sin información suficiente para realizar una restitución mediante el método definido anteriormente.

3.3 Variables para la estimación del impacto ambiental en los ecosistemas

La comparación entre la respuesta espectral de la vegetación en distintas bandas del espectro (Huete, 1985) permite la elaboración de muy variados índices espectrales (NDVI, SAVI, etc.) que proporcionan información sobre la presencia de vegetación y el estado de ésta. Los índices NDVI y SAVI aportan una información semejante en las coberturas densas, como bosques y matorrales húmedos. Debido a que el objetivo del estudio se centra en bosques tropicales, presentando un comportamiento similar entre los índices, se llevará a cabo el análisis únicamente con el índice NDVI considerando que es un muy buen indicador del vigor vegetal y por tanto, una buena medida de la degradación en ecosistemas vegetales.

Mediante un mosaico mensual de imágenes del satélite DEIMOS-1 se pueden cubrir Tailandia y Paraguay y a partir de ellas se pueden estimar los mapas de NDVI de las imágenes capturadas. Esto ha llevado a la necesidad de aprovechar todas las oportunidades de captura desde el 1 de abril de 2014 hasta el 31 de diciembre de 2015 imágenes de DEIMOS-1 sobre Tailandia y Paraguay. Para determinar el NDVI mensual

sobre Tailandia y Paraguay se usan compuestos de máximo valor de imágenes de DEIMOS-1 tomados diariamente para la cobertura mensual de los años 2014 y 2015.

A partir de la representación del NDVI frente al tiempo se puede apreciar el comportamiento fenológico de los diferentes usos, lo cual queda claramente representado en la Figura 29. Los datos corresponden a datos de NDVI pertenecientes a 5 años para una serie de usos que permiten diferenciar patrones que corresponden a distintos usos localizados en zonas más áridas y con valores NDVI bajos o zonas más frondosas con valores de NDVI más altos. Por tanto, se observa la dinámica intra-anual o ciclo fenológico de cada uso y también la anual.

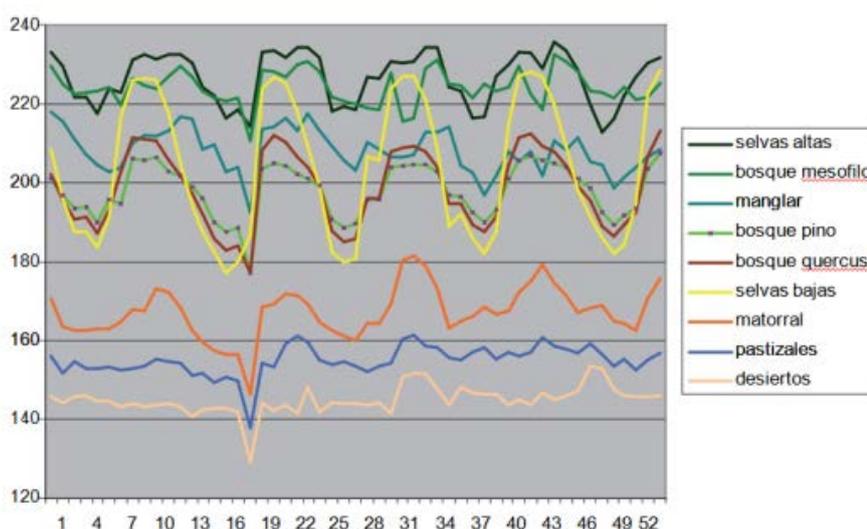


Figura 29. Comportamiento del NDVI en el tiempo para diferentes tipos de usos. (CONAFOR, 2008)

Este índice nos servirá como punto de partida para el cálculo de otras variables de interés como son la biomasa, la fracción fotosintética activa (fPAR) y la productividad primaria neta (PPN) pudiendo derivar de ellas importantes características del funcionamiento general de un ecosistema y su evolución a lo largo del tiempo.

Haciendo uso de una relación aceptada por las Naciones Unidas (Meneses, 2009) es posible estimar la cantidad de biomasa aérea de una zona a través del índice NDVI en diferentes ecosistemas terrestres presentes en dicha zona. Según dicho estudio, la correlación encontrada entre la biomasa y el NDVI es de 0.8334 y se demuestra que una variación negativa en la cubierta vegetal se ve reflejada también en un decaimiento en el valor del NDVI. Por tanto, el NDVI puede ser utilizado como indicador de degradación o cambio en coberturas vegetales de cualquier parte del mundo por inaccesible que sea el lugar. Cuando se habla de cambio de la cobertura vegetal se están considerando procesos de "Pérdida", "Alteración" o "Recuperación".

atmósfera al caracterizar la productividad primaria, en los cambios de cubierta del suelo, la salud de la vegetación y el secuestro de carbono. Parámetros meteorológicos como la precipitación y la temperatura son dos de los principales factores que determinan la porción de PAR absorbido por las plantas.

El objetivo de muchos autores, como Myeni et al (1994), ha sido el de poder estimar esta fPAR de una forma indirecta. Sirva de ejemplo la estimación de la fPAR desde un dato de satélite. Históricamente, estas estimaciones han sido clasificados en:

- Métodos de regresión. Se trata del uso de un polinomio para el ajuste. Se ha intentado relacionar los datos de reflectancia o NDVI registrados por un sensor portado en un satélite con datos de fPAR medidos en campo a través de una regresión lineal.
- Modelos físicos. Los modelos físicos describen cómo la energía luminosa es absorbida o reflejada y estiman características físicas de la vegetación como el índice de área foliar o la fPAR. Para esto se utilizan modelos biofísicos como Prospect+Prosail, (Jacquemoud S, 2009), modelos que incorporan parámetros relacionados con la forma de las hojas, la luz que interactúa, la evapotranspiración, el estrés, etc.

Los métodos regresivos que hacen uso de redes neuronales y árboles de decisión, (Atkinson et al. 2000; Benediktsson et al. 1997; Bouman et al.,1994) requieren de parámetros atmosféricos coetáneos al momento de la adquisición si se desea realizar una correcta corrección atmosférica de los datos de satélite; dada la resolución espacial de los datos DEIMOS-1 se debe normalizar la anisotropía del dato mediante la estimación bidireccional de la luz y de la reflectancia y como no se conoce la composición de la atmosfera ni en Tailandia ni en Paraguay justo en el momento de toma de los datos de satélite, este tipo de métodos han sido desestimados.

Por otro lado, dado que las coberturas proceden de una composición de imágenes adquiridas en varios días y con el fin de minimizar el impacto de la atmósfera y la interferencia por las nubes o la nieve, la relación entre las mediciones de reflectancia desde satélite y las estimaciones de fPAR varía según el tipo de vegetación analizada, y por lo tanto es importante el tipo de cobertura terrestre como insumo necesario para el cálculo de fPAR. Por tanto, se eligió la forma empírica para el cálculo de la fPAR. La estimación de la fPAR normalmente se realiza a partir de una relación lineal tal como se comentó (Moreno, 2012). Formalmente:

$$fPAR = a \cdot NDVI + b$$

Basado en el algoritmo de "Backup" de MODIS (Myeni , 1999), donde se definen para cada tipo de biomasa una de Look up Table (LUT) con 20 registros en términos de intervalos constantes de NDVI iguales a 0.05.

Para el proyecto DEIMOS, a partir de estas LUT, se ha cambiado esta forma lineal por un polinomio de grado cuatro/tipo de biomasa al obtenerse un mayor coeficiente de correlación. Formalmente:

$$fPAR = a \cdot NDVI^4 + b \cdot NDVI^3 + c \cdot NDVI^2 + d \cdot NDVI + e$$

En Tailandia y Paraguay consideramos la existencia de 6 posibles tipos de biomasa. Estos son los bosques tropicales, las sabanas tropicales, las praderas, bosques de coníferas, alta montaña y mares y océanos. Ha sido renombrados estos desde "biomass-1" a "biomass-6". En la Figura 31 se muestra la relación de fPAR versus NDVI para 2 de estos tipos de biomasa. Dado el objetivo principal del proyecto, el tipo de biomasa considerado en el cálculo de los mapas de fPAR fue bosques tropicales.

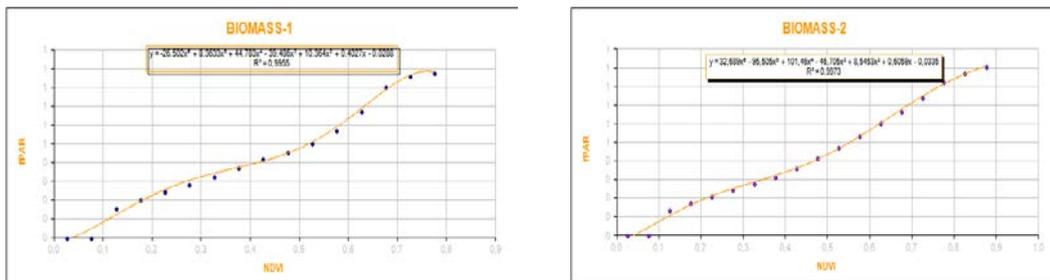


Figura 31. Ejemplo de la relación de tipo polinomio de grado 4 para dos de los seis tipos de biomasa

La fPAR obtenida de una imagen DEIMOS-1 se muestra en la Figura 32.

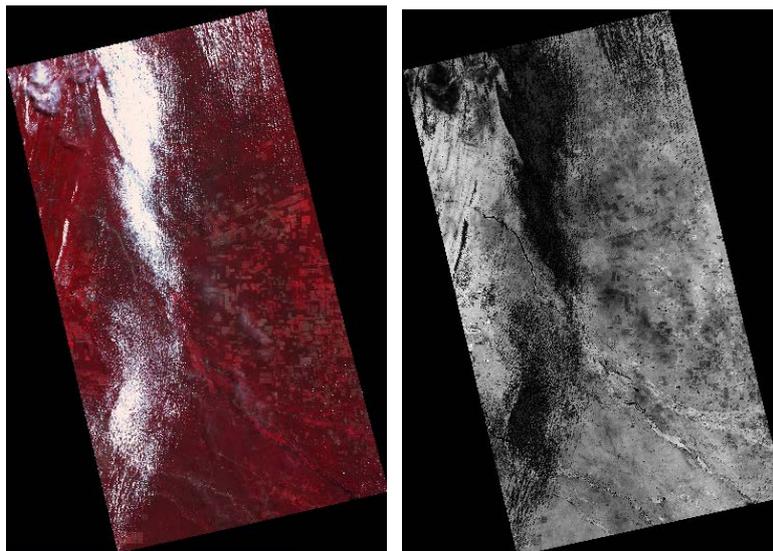


Figura 32. Imagen Deimos-1 y su correspondiente mapa de fPAR

La productividad primaria neta (PPN) es una variable que nos indica el estado de los ecosistemas y se define como la energía fijada por fotosíntesis menos la energía empleada por la respiración, o lo que es lo mismo la producción primaria bruta menos la respiración. Cuando toma un valor positivo la biomasa de las plantas del ecosistema va aumentando. Por el contrario, en ocasiones la identificación de una tendencia decreciente en el tiempo de esta variable se halla relacionada con procesos de degradación del ambiente. La estimación de PPN ha sido utilizada para la evaluación de la función del ecosistema, la estimación del rendimiento de los cultivos, las reservas para el ganado, el control de cambios de la productividad a lo largo del tiempo, la evolución del estado de la vegetación y como entrada para modelos de carbono. Diversos autores como Wessels et al. (2003) han desarrollado estudios con PPN a partir de datos de satélite para evaluar la degradación de la Tierra.

Para el cálculo de la PPN se ha seleccionado el modelo C-Fix, presentado en su forma original por Veroustraete, Patyn, y Myneni en 1994. Este modelo fue elegido debido a la posibilidad de acceso tanto a los datos auxiliares estáticos como dinámicos. Estos son mapa de usos de suelo, como datos auxiliares estáticos, y la temperatura del aire, fPAR, radiación solar y concentración actual de CO₂ en la atmósfera como datos auxiliares dinámicos.

La estimación de la fPAR se realiza mediante su relación con el NDVI, mientras los flujos de masa de aire se estiman mediante la incorporación de la temperatura y la entrada de radiación global. Así, la ecuación que regula la productividad primaria neta (Veroustraete, 2002) es:

$$PPN = GPP \cdot (1 - Ad)$$

donde GPP es Gross Primary Photosynthesis [gC/m²/day] y Ad representa "Autotrophic Respiratory Fraction of GPP".

En la ecuación anterior puede sustituirse la GPP por:

$$GPP = p(T_{atm}) \cdot CO_{2fert} \cdot \varepsilon \cdot fPAR \cdot c \cdot S_{g,d}$$

Donde:

- $p(T_{atm})$ es un factor normalizado dependiente de la temperatura,
- CO_{2fert} es un factor normalizado de fertilización,
- ε es la eficiencia en el uso de la radiación por parte de la vegetación (RUE=1.10), [gC/MJ(APAR)],
- $S_{g,d}$ es la radiación solar diaria que alcanza la vegetación, [MJ/m²/day],
- fPAR es la fracción fotosintética activa y
- C es la eficiencia climática (c = 0.48)

El valor de GPP también tiene dependencia con la temperatura del aire. Formalmente, se expresa como sigue:

$$p(T_{atm}) = \frac{e^{\left(C_1 - \frac{\Delta H_{a,P}}{R_g T}\right)}}{1 + e^{\left(\frac{\Delta S T - \Delta H_{d,P}}{R_g T}\right)}}$$

donde:

- C_1 es constante y de valor 21.77,
- $\Delta H_{a,P}$, es la energía necesaria para que se active la fotosíntesis en la vegetación [$J \text{ mol}^{-1}$],
- R_g , es constante [$J \text{ K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$],
- T , es la temperatura del aire [K], ($T_{opt} = 295.13$),
- ΔS , es la entropía a partir de la cual se rompe el equilibrio natural del CO_2
- $\Delta H_{d,P}$, es la energía de desactivación y con valor 211 [$J \text{ mol}^{-1}$].

Para llevar a cabo el cálculo de la misma es necesario hacer una serie de suposiciones: se supone que en todo pixel existe mezcla de varios tipos de vegetación, y que $p(T_{atm})$ varía en función del tipo de vegetación; estos valores están tabulados en la literatura.

La determinación de los efectos de fertilización sobre el CO_2 formalmente queda expresada por:

$$CO_{2 \text{ fert}} = \frac{[CO_2] - \frac{[O_2]}{2\tau}}{[CO_2]_{ref} - \frac{[O_2]}{2\tau}} \frac{K_m \left(1 + \frac{[O_2]}{K_0}\right) + [CO_2]_{ref}}{K_m \left(1 + \frac{[O_2]}{K_0}\right) + [CO_2]}$$

Donde:

- τ , es el ratio específico de CO_2/O_2 ,
- K_m , es la constante de afinidad de "Rubisco" del CO_2 ,
- K_0 , constante de inhibición del O_2 ,
- $[CO_2]$, es la concentración de CO_2 en el tejido de las hojas ($\approx 376 \text{ ppmv}$),
- $[CO_2]_{ref}$, es la concentración de CO_2 del año de referencia 1883 y que toma el valor 281 ppmv
- $[O_2] \approx 20.9 \text{ ppmv}$

Para la estimación de la constante de afinidad de Rubisco:

$$K_m = A \cdot e^{(-E_a/R_g T)}$$

Donde:

- si $T \geq 15^\circ$ $E_a = 59.4 \text{ [KJ mol}^{-1}]$ y $A = 2.419 \cdot 10^{13}$
- si la temperatura es $< 15^\circ$ $E_a = 109.6 \text{ [KJ mol}^{-1}]$ y $A = 1.976 \cdot 10^{22}$

La constante de inhibición K_0 para O_2 es calculada mediante la ecuación K_m , donde $A_0 = 5240$ y $E_{a0} = 13913.5$.

El cálculo del ratio específico de CO_2/O_2

$$\tau = A_\tau \cdot e^{(-E_{a\tau}/R_gT)}$$

Donde $A_\tau = 7,87 \cdot 10^{-5}$ y $E_{a\tau} = -42869,9$

La Figura 32 muestra la salida del modelo para datos del sensor SLIM-6 en el satélite Deimos-1.

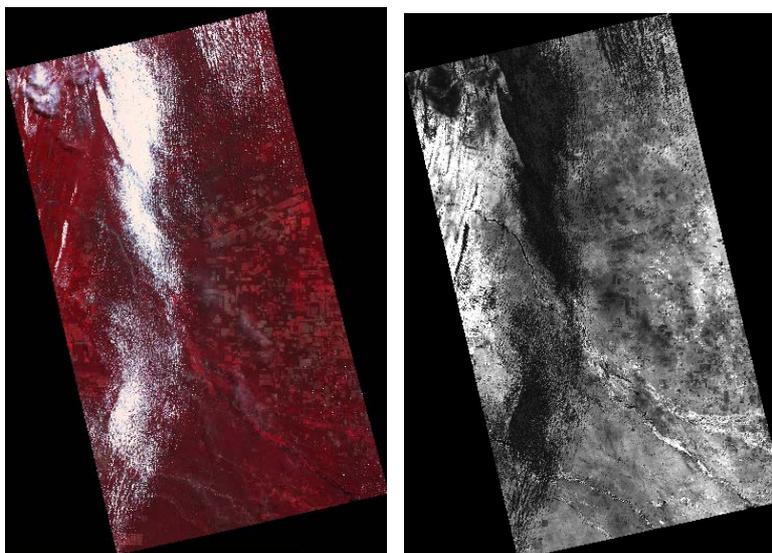


Figura 33. Imagen Deimos-1 y su correspondiente mapa de PPN

3.4 Elaboración de mapas de cambio para la estimación de la deforestación

Se ha llevado a cabo una evaluación de los algoritmos existentes para la estimación de cambios, siempre y cuando estos cumplieran las expectativas esperadas ya que dichas técnicas deben ajustarse a una mayor resolución de las imágenes de las que hasta ahora han sido utilizadas. A partir de los datos concretos adquiridos sobre estas zonas a lo largo del proyecto DEIMES, se han conseguido evaluar los distintos índices de vegetación desarrollados durante las actividades realizadas, como el NDVI, fPAR, y analizarlos en el contexto multitemporal para poder determinar así la variación asociada a la deforestación apreciada.

En este tipo de técnicas es de especial importancia el proceso de orto-rectificación de las imágenes, ya que un buen resultado de este proceso hace posible la mejor identificación al producirse una máxima concordancia espacial entre imágenes candidatas a detectar el cambio (Gordon, 1980). Así, dicho algoritmo partirá de

imágenes cuyo error geométrico, estimado en la fase de control de imagen, es inferior a medio píxel. Dado que este proceso de orto-rectificación ha sido realizado manualmente e inmediatamente validado geométricamente, ha sido cumplido por todas las imágenes del proyecto DEIMES.

A continuación, se mostrarán aquellas técnicas de análisis de cambio identificadas y evaluadas.

3.4.1 Análisis de tendencias: Cambios fenológicos en el tiempo

El análisis de cómo evoluciona la vegetación y su comparación respecto a la fecha de interés en la que se desea conocer si se ha producido o no un cambio puede mostrar si una zona lo ha habido o no. El análisis del efecto y la interpretación del mismo puede incluso llevar a conocer su causa. Estos cambios pueden aparecer en zonas quemadas, zonas erosionadas, zonas deforestadas, etc. Un cambio en la biomasa de una zona suele llevar asociado un cambio en el secuestro/emisión del carbono. También, el análisis evolutivo permite conocer si en un momento dado la vegetación de una zona está igual, o no, a cómo estaba antes. Esto puede realizarse mediante un análisis de los valores de NDVI entre dos fechas diferentes, así como comparando el NDVI que debería aparecer en un momento dado y lo que realmente aparece.

Por tanto, la idea fundamental para la calificación de si ha ocurrido un cambio o no es conocer si el estado de la vegetación se aleja o no del estado esperado, tras realizar un seguimiento de su evolución.

La diferencia entre fechas debe de ser un parámetro configurable del algoritmo y se ha de basar en "Reflectancia TOA", debido a que, en un futuro, quizás sea de interés cambiar de índice espectral de manera que una vez estimada la reflectividad se genera el índice espectral. Como ya se ha explicado, durante el proyecto DEIMES se ha utilizado el NDVI.

El objetivo del algoritmo de tendencias es el de ser ejecutado para valores de NDVI usando meses consecutivos de NDVI, para conocer su tendencia. Este busca un NDVI esperado o extrapolado desde una ecuación de ajuste lineal que se obtiene entre los datos de NDVI correspondientes a meses anteriores al cambio. Así, el comportamiento del NDVI para un píxel "i" viene caracterizado a partir de la ecuación:

$$\text{NDVI extrapolado} = a_i t + b_i$$

en la que no se ha utilizado el dato del mes actual, con el fin de no introducir esa información en la medida de la tendencia. En la ecuación, "t" es la variable tiempo y los coeficientes "a_i" y "b_i" son coeficientes precedentes de cada regresión/píxel. De esta forma la evolución esperada de la vegetación en ese píxel o "NDVI_{extrapolado}", es producto de extrapolar dicha ecuación para un "t+1".

De acuerdo a este razonamiento, la diferencia de los valores $NDVI_{esperado} - NDVI_{medido}$, que en adelante llamaremos residuo, ya debería ser un indicador o no del cambio: valores negativos indican no cambio frente a valores positivos que indican sí cambio.

Dicho parámetro cambio, sin embargo, se trata aún de un indicador sesgado, puesto que un residuo determinado debería ser más grave en un píxel con un valor más bajo del NDVI que en un valor alto del mismo. Por ello, el indicador final propuesto ha sido un residuo normalizado para un área espacial que contiene al píxel de interés.

$$Cambio = \frac{NDVI_{extrapolado} - NDVI_{real}}{NDVI_{real}}$$

El cambio debe de ir asociado a una región, describiendo el residuo de todos los píxeles de dicha área una distribución normal. Puesto, que el objetivo del algoritmo es discriminar aquellas zonas con cambios, el algoritmo utiliza una tipificación sobre los valores de los residuos en un área cuadrada de 50km x 50km, que contiene al píxel de estudio. Este valor puede ser parametrizable si fuera necesario y se considera que el píxel tiene cambio si su valor de NDVI es superior a la media más dos veces la desviación estándar de las áreas cuadradas de 22km x 22km.

3.4.2 Análisis de Componentes Principales

Como ya se ha mencionado, una región puede cambiar por dos motivos, por la propia evolución de los usos o por la ocurrencia de un cambio como un incendio, una corta, o una urbanización. Con el objetivo de ver si algún efecto observado es causado por un cambio y al disponer de datos de satélite continuos en el tiempo, se pueden detectar los cambios de uso, si los hay, e incluso su causa.

La serie de imágenes temporales permite obtener curvas fenológicas de los distintos usos de suelo presentes en la geografía de Paraguay o Tailandia sin estar "in situ". La Figura 34 muestra 4 ejemplos de curvas fenológicas sobre 4 enclaves en los cuales se muestra el valor índice de vegetación (valores en ordenadas) registrado en cada periodo de 10 días desde el año 2000 hasta el 2007 (valor en abscisa) y que representan la evolución fenológica sufrida por el uso tierras arables (superior izquierda), el uso forestal (superior derecha), el uso forestal incendiado en 2004 (inferior izquierda) y el uso forestal con cambio a improductivo (inferior derecha). De todas ellas se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Tierras arables: alternancia entre siembra y barbecho, los años pares e impares
- Uso forestal: permanece el marco de plantación, sufriendo una evolución esperada. Nótese la pendiente positiva en la evolución de la curva debido al aumento de área foliar-LAI de la especie
- Uso forestal con incendio en 2004: se observa cómo hasta 2004 la evolución de la masa forestal es normal y sin embargo a partir de 2004 un incendio elimina la

actividad fotosintética del enclave. Desde 2004 hasta la actualidad el enclave ha recuperado la actividad fotosintética faltándole un par de años para igualar a la que ya tenía en el año 2000

- o Uso forestal con cambio a improductivo: Claramente la evolución de la fenología a lo largo del tiempo muestra como a partir de 2004 se produce un cambio de uso y la estacionalidad de la fenología desde ese momento hace deducir que es a un uso improductivo

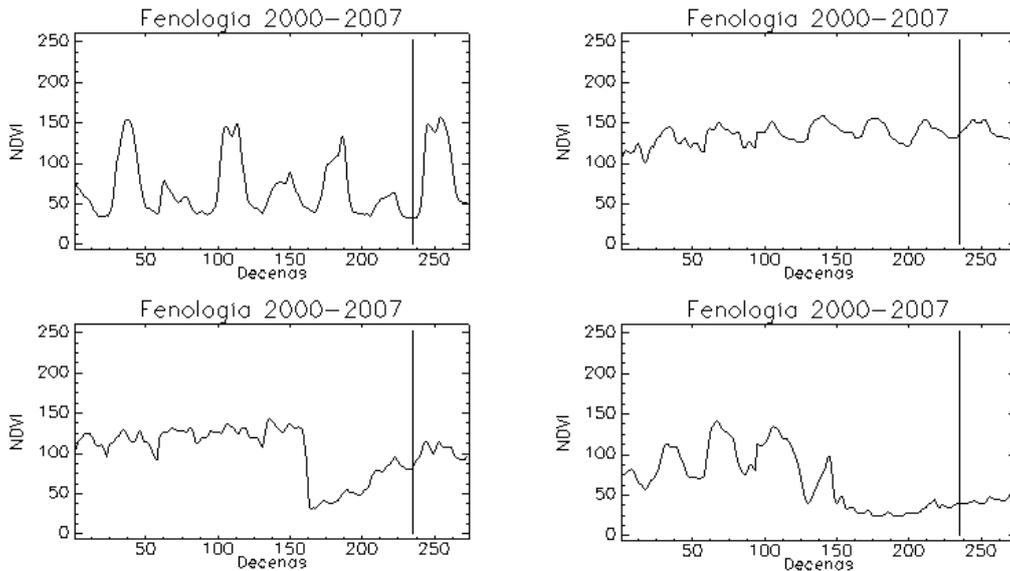


Figura 34. Evolución fenológica sufrida por el uso tierras arables (superior izquierda), el uso forestal (superior derecha), el uso forestal incendiado en 2004 (inferior izquierda) y el uso forestal con cambio a improductivo (inferior derecha)

Mediante un análisis de componentes principales (PCA) sobre toda una serie de datos de índice de vegetación se obtiene información muy útil para conocer de antemano donde es seguro que se ha producido un cambio. El análisis de componentes principales es una técnica utilizada para reducir la dimensionalidad de un conjunto de datos. Intuitivamente la técnica sirve para determinar el número de factores subyacentes explicativos tras un conjunto de datos y explica la variabilidad de dichos datos (Fung et al, 1987).

Un análisis de componentes principales busca una proyección según la cual los datos queden mejor representados por técnicas de mínimos cuadrados. PCA se emplea sobre todo en análisis exploratorio de datos y para construir modelos predictivos. PCA comporta el cálculo de los autovalores de la matriz de covarianza.

Un ensayo experimental realizado previamente sobre España para evaluar el procedimiento muestra como 288 mapas de NDVI, pueden ser representados por un mapa pseudocolor de las 3 primeras componentes.

La zona encerrada por la elipse de color rojo muestra el incendio de Huelva de 2004 (área color amarillo-lima). Todas las zonas con el mismo color en la imagen muestran cambios drásticos en la fenología de dicha serie. El uso de esta serie de datos frente a un mapa de usos de suelo, permite conocer las zonas con cambio.

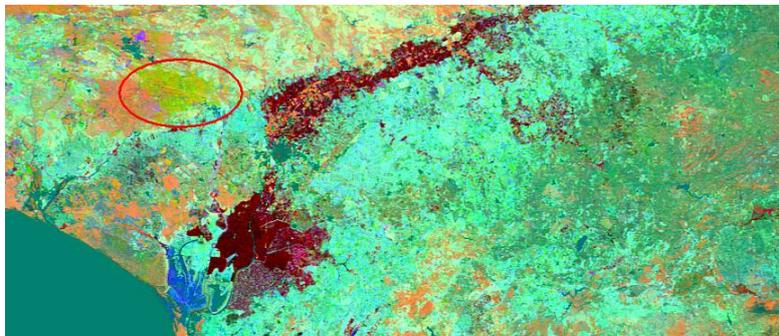


Figura 35. Mapa RGB de las 3 primeras componentes principales, del cual se deduce las zonas con cambio debido a un incendio

Este tipo de análisis de cambios, presenta una potente herramienta de trabajo para identificar cambios, (Vargas .y Chuvieco, 1991). Sin embargo, tiene el problema de necesitar una serie de datos extensa para su aplicación. Este tipo de técnica es de difícil aplicación en datos DEIMOS-1 sobre Tailandia y Paraguay al tener una serie corta de datos: 2014-2015

3.4.3 Algoritmo de umbrales

Siempre que la superficie terrestre sufre un cambio, desde un punto de vista de teledetección, el punto principal de error es la discriminación entre la superficie con cambio y las zonas adyacentes. Siendo 22m la resolución espacial que tienen los datos DEIMOS-1, radiométricamente las zonas con cambios solamente son identificables si son cambios sufridos por la vegetación. Esto conlleva un incremento de reflectancia en el visible y su disminución en el infrarrojo próximo.

Un índice como el NDVI es un indicador mucho más sensible a las variaciones que los de ambos canales por separado. Esto hace que la identificación de cambios en Tailandia o Paraguay se base en el establecimiento de umbrales adecuados sobre los índices espectrales en imágenes anteriores y posteriores a la ocurrencia del cambio. Este algoritmo utiliza como entrada la salida de un algoritmo de discriminación de cambios fenológicos en el tiempo.

Durante la ejecución de esta tarea, se desarrollaron ensayos experimentales en zonas en las que el algoritmo PCA aplicado a datos MODIS muestra cambios en el tiempo. Estos han servido para observar y obtener como conclusión que los umbrales dependen de la zona analizada y de la época en que son tomadas las imágenes de satélite.

Uno de los problemas identificados lo constituye el hecho de aquellos píxeles localizados en el borde de la zona con cambio. La definición de un umbral introduce errores sobre zonas que se han visto afectadas parcialmente. Debido al gran volumen de datos DEIMOS-1 manejados dentro proyecto DEIMES, se ha preferido definir un método automático que se presenta a continuación.

3.4.4 Métodos automáticos de análisis: Análisis de regresión

Este algoritmo se basa en el análisis de las ventanas de píxeles a través de un análisis de regresión lineal. El tamaño de las ventanas han sido 22x22km. Para ello, el algoritmo realiza los pasos siguientes:

Cálculo de la ecuación de regresión lineal entre mapas de los índices espectrales "antes" versus "después". Formalmente:

$$\text{Indice espectral}_{\text{después}} = a \cdot \text{Indice espectral}_{\text{antes}} + b$$

Estimación del residuo, donde $\text{NDVI}_{\text{regresión}}$ es el valor extrapolado del ajuste, mediante la ecuación. Formalmente:

$$\text{residuo}_{\text{pixel}} = \text{Indice espectral}_{\text{regresión}} - \text{Indice espectral}_{\text{después}}$$

Esto se realiza para cada uno de los píxeles de la ventana

Y por último, la determinación del umbral automático de zona afectada, para aquellos píxeles que satisfagan la siguiente desigualdad,

$$\text{residuo}_{\text{pixel}} \geq 2S$$

donde S es el error de la regresión.

3.4.5 Métodos automáticos de análisis: Análisis de la diferencia

Nuevamente, haciendo uso del semivariograma se determina el tamaño de la ventana. A partir de esta se calcula una estadística de las diferencias obtenidas entre los índices espectrales "antes" y "después" al cambio t la diferencia se hace entre todos los píxeles de 22kmx22km. Para ello se siguen los siguientes pasos:

Cálculo de los residuos en la ventana. Esto se realiza para cada uno de los píxeles de la ventana. Formalmente:

$$\text{residuo} = \text{NDVI}_{\text{después}} - \text{NDVI}_{\text{antes}}$$

Estimar sobre la ventana los parámetros estadísticos de la media de las diferencias de los residuos y el correspondiente valor de la desviación estándar, μ_{a-d} y σ_{a-d} , respectivamente

Determinar el umbral mediante: $umbral = \mu_{a-d} + 2\sigma_{a-d}$. Si los residuos son mayores que el umbral se considera que el pixel ha sufrido cambio.

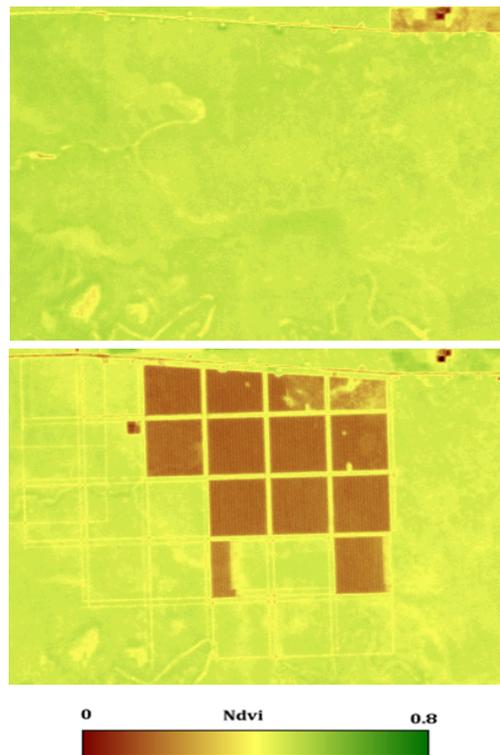


Figura 36. Imágenes de NDVI sobre Paraguay 04/07/2014 y 19/07/2015 donde se aprecia cambio debido a la deforestación

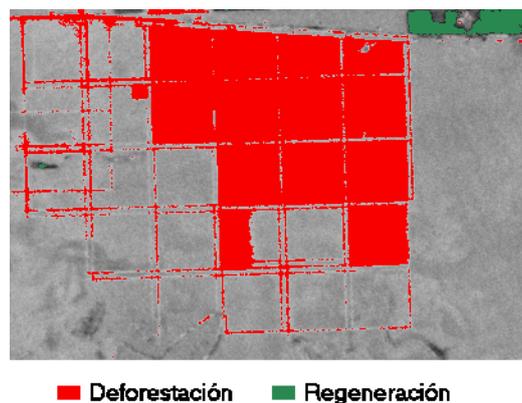


Figura 37. Aplicación de algoritmo de cambios

Capítulo 4.- LA TELEDETECCION COMO HERRAMIENTA PARA LA GESTION AGRICOLA

El uso de herramientas como la Teledetección y los sistemas de información geográfica son de gran utilidad para la gestión más eficiente de la agricultura de precisión. En el sector vitivinícola se percibe una mayor predisposición en el uso de estas tecnologías para mejorar el manejo del viñedo por su alta rentabilidad económica y también por su impacto en el desarrollo económico de numerosas zonas rurales.

Debido al especial interés de la Teledetección en este campo, en este capítulo se va a mostrar un caso de estudio concreto que se centra la aplicación de datos de satélite en el diseño e implementación de un método de trabajo que facilite una agricultura preventiva a la hora de tomar decisiones de gestión en distintos aspectos tanto productivos como sanitarios, basada en datos de campo, sensores de clima, de planta y de suelo, y de variabilidad espacial. Este estudio fue llevado a cabo en la Bodega Pazo Señorans, la cual se hizo partícipe del estudio aportando la información necesaria para su ejecución. Dentro de la información aportada se cuenta con la cartografía de las parcelas de estudio y datos de los registros de los sensores situados en los viñedos con las variables más características de la uva entre otros.

En este sentido se desarrollará una metodología de gestión de la información en los viñedos basada en elaborar un plan de aprendizaje en el cual las principales variables que afectan al cultivo son registradas, almacenadas y puestas a disposición de los técnicos que han de tomar las decisiones. Para ello se ha llevado a cabo la instalación de una serie de sensores en la bodega de Pazo Señorans que permiten, junto con las imágenes multiespectrales proporcionadas por el satélite, correlacionar ambas fuentes de información y establecer así un sistema de gestión agrícola adecuado que optimice los tratamientos fitosanitarios.

Para que un sistema de gestión sea eficiente y efectivo para una agricultura preventiva, necesita alimentarse continuamente con imágenes de satélite de forma que cualquier tipo de evolución no deseada, y que afecte a la producción final, sea detectada a

tiempo permitiendo tomar las medidas oportunas para corregir los problemas sobrevenidos. Ante estas necesidades el satélite Deimos-2, con muy alta resolución y con una revisita de tres días en las latitudes 35°-45°, es una fuente de datos muy adecuada para ello.

El diseño e implementación de la metodología se llevó a cabo previamente al lanzamiento del satélite Deimos-2, 19 junio de 2014, de forma que una vez lanzado ya se obtuvieran las primeras imágenes sobre la bodega y ésta estuviera preparada para recibir y procesar todos estos datos de alta resolución y proporcionar así los resultado para la gestión de las parcelas en parte de la campaña de verano de 2014. Para la fase de diseño de la herramienta, se contó con datos Deimos-1, intercalibrado radiométricamente con Deimos-2. De esta forma los datos de los sensores en la parcelas proporcionados por Pazo Señorans fueron correlacionados con datos Deimos-1 programados para ser capturados casi instantáneamente con los datos tomados in situ en la parcela.

Previamente a la definición de la metodología a aplicar, se realizó una investigación bibliográfica con el objeto de encontrar qué se había hecho, hasta el momento, con datos de satélite en viticultura. Entre los numerosos artículos consultados, esta revisión bibliográfica se ha realizado principalmente sobre dos revistas, International Journal of Remote Sensing y Remote Sensing of Environment que son en las que más frecuentemente se trata este tema. La revisión se ha llevado a cabo sobre los ejemplares publicados desde el año 2000 hasta la hasta el comienzo del estudio, siendo el año de inicio coincidente con la década en la que comienza a volar el satélite Ikonos-2, primer satélite VHR de uso civil de la historia.

Las conclusiones a las que se llegó de dicho estudio, pueden resumirse como:

- -Trabajos de gestión: adquisición lo más cercana en el tiempo al momento de evaluación de forma que mejora el conocimiento del viñedo. Esto permite optimizar el itinerario de los técnicos:
 - Proporcionar conocimiento acerca de la sub-parcela con la que se puede responder a objetivos cualitativos y cuantitativos propuestos
 - Mejorar los procedimientos de muestreo, con especial importancia la elección de los puntos a muestrear
 - Optimizar la fertilización
 - Reducción de la heterogeneidad de la parcela
 - Mejora de calidad y cantidad de uva en la zona con poco vigor
 - Economía de abonado orgánico
- -Trabajos de apoyo a la toma de decisiones: Apoyo a decisiones en proyectos de reconversión cualitativa

- Identificar, por prioridades, las parcelas que deben de ser vendimiadas
- Localizar las zonas más favorables para la plantación de viñedo
- Preparación de una nueva plantación (como por ejemplo definir parcelas homogéneas, localizar las observaciones de perfiles pedológicos y muestreos de suelo)
- Trabajo para el aumento de cantidad/calidad de vino: Aumento de la cantidad de vino:
 - Localizar las parcelas o zonas de parcelas potenciales
 - Ajustes en el proceso de vinificación a unos lotes de uva de calidad más homogénea
 - Localizar y cosechar por separado sectores de sub-parcela
- Trabajos de Geo-marketing: Modificación en la vendimia del itinerario técnico y así, poder satisfacer este segmento de mercado
- Otros trabajos de gestión: Mejorar las selecciones parcelarias y completar el trabajo de los técnicos:
 - Valorar el potencial cualitativo de parcelas que los técnicos no tienen tiempo para visitar
 - Caracterizar el viñedo rápidamente y a gran escala
 - Seleccionar las parcelas justificando una visita: localización de parcelas atípicas, de poco vigor, o con muchas cepas que faltan

4.1 Estimación de los parámetros de sensorización, por métodos de regresión

4.1.1 Características del lugar de estudio

Como primer paso en el estudio, se ha llevado a cabo la puesta a punto de toda la información vectorial necesaria para su ejecución. Para ello se ha partido de la información cedida por Pazo Señorans; esta información viene dada en formato vectorial de forma que contiene:

- Geolocalización y zonificación de cada píxel, parcela y finca
- Zonificación de las sub-parcelas interiores a la finca según su manejo de siembra:
Vaso, espaldera
- Orientación e inclinación del terreno para cada parcela. Para la creación de un modelo digital de elevaciones.
- Localizaciones de los datos sensoriales
- Localización de 2 estaciones meteorológicas adquiridas para este proyecto
- Know-how de los técnicos de la bodega

Así, esta información ha llegado en formatos no manejables por los programas GIS disponibles y ha sido necesario convertirlos a formato vectorial de ESRI. Sirvan de ejemplo las localizaciones de los datos sensoriales utilizados durante el proceso de orto-rectificación de las imágenes, los cuales llegaron en formato Excel y fueron convertidos a Shape de ESRI, junto al Modelo digital del terreno de la finca. O la conversión de esos puntos para poder georreferenciar el PDF con los límites de las sub-parcelas.



Figura 38. Ejemplo de georreferenciación del PDF con los límites de las sub-parcelas

A continuación en la Tabla 3 se muestran los datos de los parámetros de sensorización cedidos por los técnicos de la bodega Pazo Señorans. Estos datos corresponden a datos medios a nivel de cada sub-parcela; ver la Figura 39 para ver su procedencia dentro de la finca.

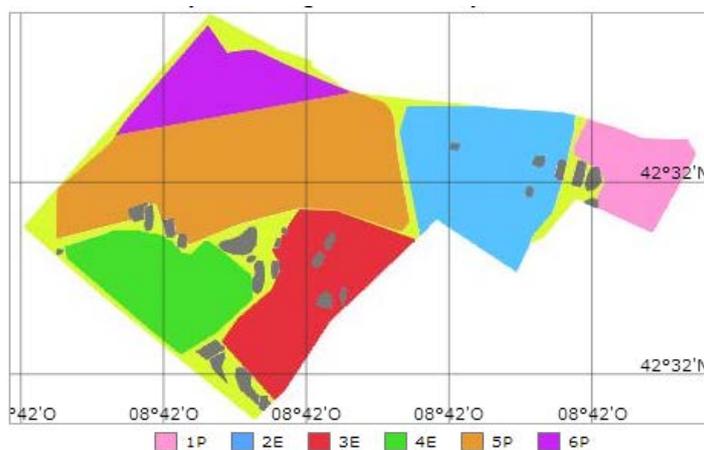


Figura 39. División en sub-parcelas de la finca de Pazo Señorans, según su marco de plantación

A partir del análisis de los datos de la Tabla 3, se dedujo que de todos ellos el que presentaba una buena correlación con el resto de parámetros característicos de la vid era el grado Brix. A medida que se acerca la vendimia, el control de los niveles de azúcares es de vital importancia y esta vigilancia se lleva a cabo a partir del parámetro grado Brix. Durante el proceso de maduración, los niveles de acidez descienden, sobre todo el ácido tartárico y málico, y los azúcares fermentables aumentan. Según se va

acercando el momento de la vendimia, los viticultores realizan un control diario de los azúcares y esto da una idea del porcentaje de alcohol potencial en la uva.

Considerando los valores mostrados en la Tabla 2, se observó el comportamiento lineal entre ellos, pudiendo ser estimados en término medio a través de una regresión lineal con respecto a uno de ellos. Existiendo una buena correlación entre los distintos parámetros característicos de la uva, tan solo faltaría el poder estimar el grado Brix a partir de un dato de satélite.

Tabla 3. Datos procedentes de análisis sensoriales realizados sobre los valores medios

Sub-parcela	Fecha	Peso 100 (gr)	Grado Brix (% sacarosa)	Grado Probable (% v)	Ac. Málico (gr/l)	Ac. Tartárico (gr/l)	Ac. Total (gr/l)	Ph
2E	04/09/2012	85.19	16.4	9.6	7.5	6.2	12.4	2.76
3E	04/09/2012	84.14	16.7	9.8	7.5	6.3	12.5	2.81
4E	04/09/2012	84.4	16.5	9.6	8.7	6.2	12.91	2.78
1P	04/09/2012	85.9	19.6	11.5	4.5	6.2	9.73	3.07
2E	10/09/2012	88.51	18.1	10.6	5.2	6.2	10.13	2.95
3E	10/09/2012	85.95	18.1	10.6	5.6	6.2	10.42	2.94
5P	10/09/2012	72.1	19.8	11.6	3.4	6.2	9.22	2.98
1P	21/09/2012	92.2	20.6	12.1	3.8	6.1	8.39	3.14
2E	21/09/2012	91.16	19.4	11.4	4.5	6.2	9.61	3.05
3E	21/09/2012	92.49	19.7	11.6	4.6	6.1	9.71	3.11
4E	21/09/2012	104.28	19.4	11.4	4.7	6.1	9.69	3.04
5P	21/09/2012	82.03	20.7	12.2	2.9	6.1	8.31	3.15
2E	12/09/2013	89.87	19.1	11.2	5.2	6.2	10.29	2.96
3E	12/09/2013	88.23	18.9	11.1	6.1	6.2	10.54	2.97
4E	12/09/2013	99.21	18.1	10.6	6.8	6.3	10.96	2.93
5P	12/09/2013	93.43	18.6	10.9	5.5	6.3	10.09	3.02
6P	12/09/2013	92.03	18.9	11.1	4.5	6.3	9.48	3.07
2E	26/09/2013	102.78	20.6	12.2	3.2	6.3	8.65	3.10
3E	26/09/2013	101.12	20.7	12.2	3.4	6.3	8.51	3.19
4E	26/09/2013	113.55	20.5	12.1	3.7	6.3	8.83	3.14
6P	26/09/2013	102.71	20.4	12	3	6.3	8.23	3.19

Las Figuras 40 y 41 muestran la relación encontrada entre los distintos parámetros a partir de los datos de la Tabla 3.

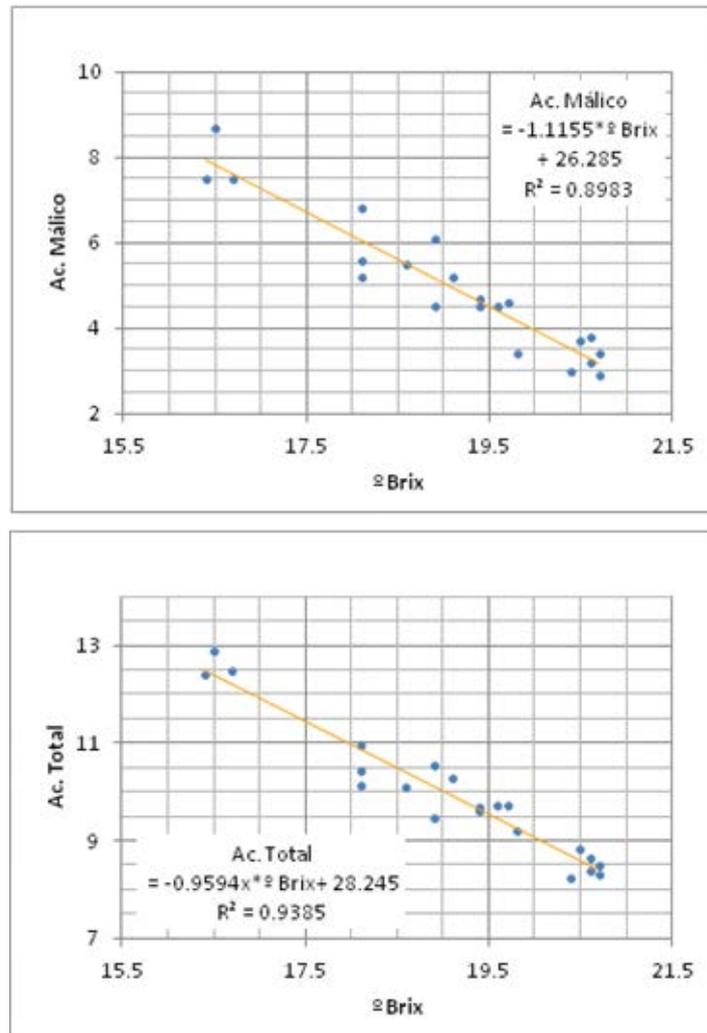


Figura 40. Relaciones de los parámetros de calidad de uva: ácido málico y ácido total frente al grado Brix

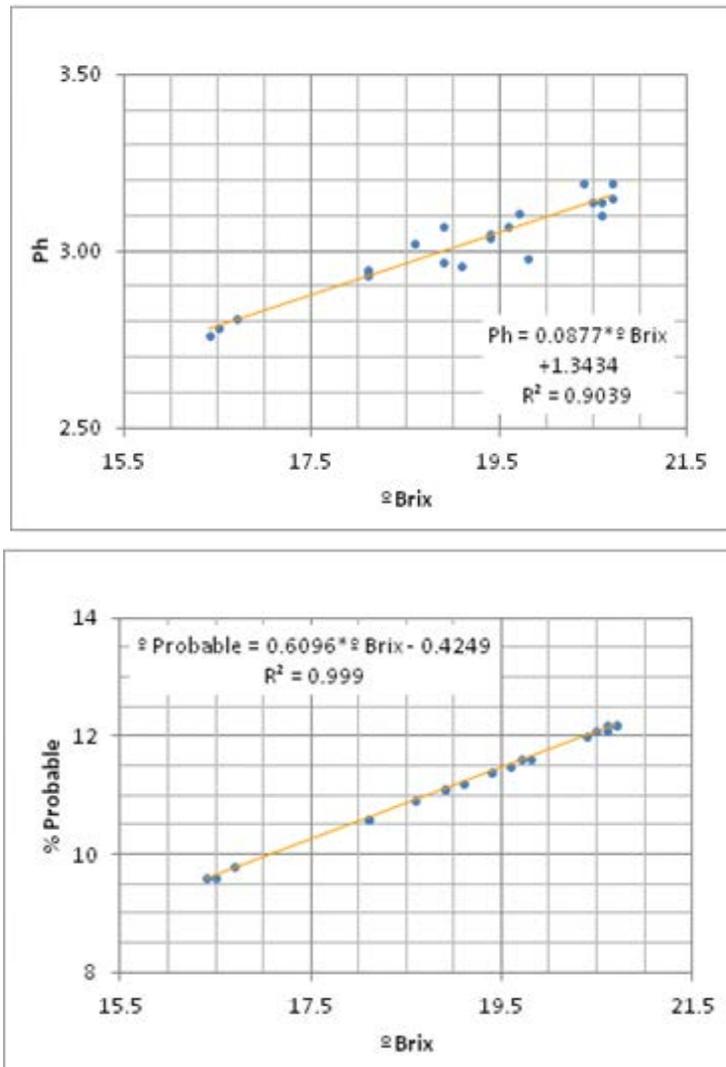


Figura 41. Relaciones de los parámetros de calidad de uva: Ph y el porcentaje de volumen probable frente al grado Brix

4.1.2 Relación del grado Brix con las características de la uva

Como se observa en la Figura 40, el modelo de regresión simple generado con los datos de grado Brix y sus respectivos valores de ácido málico, ha sido el siguiente:

$$\text{Ác. Málico} = -1.11555 \cdot \text{°Brix} - 26.285$$

Para estimar la bondad de la regresión, se ha visto que el modelo resultó significativo con una $P=0.0001$ según el test de Student, con un coeficiente de Pearson o bondad del ajuste de 0.9481 y siendo el °Brix capaz de explicar la variabilidad del ácido málico en un 89,93% de los casos. La Tabla 4 recoge los resultados citados.

Tabla 4. Valores resultado del ajuste entre el grado Brix y el ácido málico

Parámetro	Valor
Pearson	0,9481
Variabilidad del "ácido málico" explicada por °Brix	89,93
N	21

- Relación grado Brix y el ácido total

Como se observa en la Figura 40, el modelo de regresión simple generado con los datos de grado Brix y sus respectivos valores de ácido total, ha sido el siguiente:

$$\text{Ác.Total} = -0.9594 \cdot \text{°Brix} + 28.245$$

Tabla 5. Valores resultado del ajuste entre el grado Brix y el ácido total

Parámetro	Valor
Pearson	0,9687
Variabilidad del "ácido total" explicada por °Brix	93,85
N	21

Para estimar la bondad de la regresión, se ha visto que el modelo resultó significativo con una $P=0.0001$ según el test de Student, con un coeficiente de Pearson o bondad del ajuste de 0.9687 y siendo el °Brix capaz de explicar la variabilidad del ácido total en un 93,85% de los casos. La Tabla 5 recoge los resultados citados.

- Relación grado Brix y el Ph

Como se observa en la Figura 41, el modelo de regresión simple generado con los datos de grado Brix y sus respectivos valores de Ph, ha sido el siguiente:

$$Ph = -0.0877 \cdot \text{°Brix} + 0.9039$$

Para estimar la bondad de la regresión, se ha visto que el modelo resultó significativo con una $P=0.0001$ según el test de Student, con un coeficiente de Pearson o bondad del ajuste de 0.9507 y siendo el °Brix capaz de explicar la variabilidad del Ph en un 90,39% de los casos. La Tabla 6 recoge los resultados citados.

Tabla 6. Valores resultado del ajuste entre el grado Brix y el Ph

Parámetro	Valor
Pearson	0,9507
Variabilidad del "ácido total" explicada por °Brix	90,39
N	21

- Relación grado Brix y el % probable

Como se observa en la Figura 41 el modelo de regresión simple, generado con los datos de grado Brix y sus respectivos valores de % Probable, ha sido el siguiente:

$$\% \text{ Probable} = 0.6096 \cdot \text{°Brix} - 0.4249$$

Para estimar la bondad de la regresión, se ha visto que el modelo resultó significativo con una P=0.0001 según el test de Student, con un coeficiente de Pearson o bondad del ajuste de 0.999 y siendo el °Brix capaz de explicar la variabilidad del % Probable en un 99,97% de los casos. La Tabla 7 recoge los resultados citados.

Tabla 7. Valores resultado del ajuste entre el grado Brix y el % Probable

Parámetro	Valor
Pearson	0,9999
Variabilidad del "ácido total" explicada por °Brix	99,97
N	21

- El ácido tartárico

Dado que el intervalo de variación del ácido tartárico es tan reducido, no hay una correlación válida con cualquiera de los otros parámetros recogidos en campo.

4.2 Estimación del grado Brix desde un mapa de satélite

Como se comentó anteriormente, al no haber sido puesto en órbita el satélite Deimos-2 durante la fase de diseño, los datos de satélite en esta fase procederán del satélite Deimos-1 que posteriormente, al estar intercalibrado con Deimos-2, nos permitirá su utilización en la fase de explotación.

Dado que los datos procedentes de los sensores muestran el comportamiento medio por subparcela, se estimaron los valores medios de NDVI por subparcela a partir de imágenes capturadas simultáneamente con la adquisición de los sensores en los

viñedos, como se muestra en la Tabla 8. El modelo de regresión simple generado con los datos de grado brix y sus respectivos valores de NDVI, ha sido el siguiente:

$$^{\circ}\text{Brix} = 12.385 \cdot \text{NDVI} + 12.026$$

Tabla 8. Valores de grado Brix procedente de los trabajos de gabinete en Pazo Señorans y NDVI medio sub-parcelario estimado desde una imagen Deimos-1. Todos los datos pertenecen a los primeros días de septiembre de 2012

Sub-parcela	NDVI	Grado Brix (% sacarosa)
1P	0.52	19.5
2E	0.44	16.4
4E	0.43	16.5
5P	0.33	19.1

Tabla 9. Valores resultado del ajuste entre el grado Brix y el % Probable

Parámetro	Valor
Pearson	0,7544
Variabilidad del "°Brix" explicada por NDVI	56,22
N	4

Para estimar la bondad de la regresión, se ha visto que el modelo resultó significativo con una $P=0.0001$ según el test de Student, con un coeficiente de Pearson o bondad del ajuste de 0.7544 y siendo el NDVI capaz de explicar la variabilidad del °Brix en un 56,22% de los casos. La tabla 9 recoge los resultados citados. Reescribiendo las ecuaciones mostradas anteriormente, quedan:

Tabla 10. Ecuaciones de los parámetros de Pazo Señorans en función del NDVI medido por satélite

Parámetro	Ecuación
Ac. Málico	$-1.1155 \cdot (12.385 \cdot \text{NDVI} + 12.026) + 26.285$
Ac. Total	$-0.9594 \cdot (12.385 \cdot \text{NDVI} + 12.026) + 28.245$
Ph	$0.0877 \cdot (12.385 \cdot \text{NDVI} + 12.026) + 1.3434$
° Bx Probable	$0.6096 \cdot (12.385 \cdot \text{NDVI} + 12.026) - 0.4249$

4.2.1 Validación

La validación de los modelos obtenidos ha sido realizada mediante una regresión lineal entre los valores observados y los estimados o extrapolados. La precisión del modelo en la estimación de los distintos parámetros fue de acuerdo a las siguientes asunciones:

- R2 cercana a uno
- La pendiente entre el valor observado y extrapolado cercana a uno
- El intercepto BIAS cercano a cero

Así, la precisión óptima de los valores estimados por el modelo ocurrirá cuando la pendiente se acerca a uno, lo que implica que por cada unidad de parámetro observada, corresponderá una unidad de parámetro estimada. Sirva de ejemplo el Ácido Total y el Ph.

La Figura 42 muestra la validez de los resultados para el Ph y el Ácido Total una vez aplicadas las ecuaciones obtenidas definidas anteriormente y siguiendo la metodología expuesta.

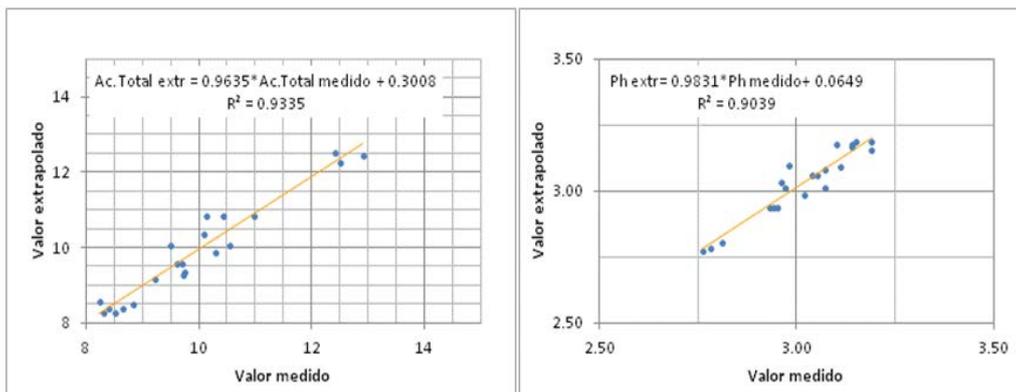


Figura 42. Validación de ácido Total y el Ph

El error cometido tras aplicar la fórmula es de 0.6gr/l para el ácido total y de 0.3 para el Ph.

4.3 Recomendación o índice de asimilación de nitrógeno

Se ha definido el índice de asimilación de nitrógeno como la recomendación de abono, en adelante recomendación de nitrógeno, que se debe aportar a la vid. Esta cantidad es variable entre años y era importante utilizarlo como un producto de asesoría para la Finca Pazo Señorans.

Tras un análisis de la bibliografía, autores como Towers (2009) han mostrado que para suplir los requerimientos nutricionales de la vid, es necesario un diagnóstico de

fertilización que implica conocer la cantidad de fertilizante para alcanzar un rendimiento objetivo y la capacidad residual en el suelo que equilibra las necesidades a proveer a la vid.

El momento adecuado para su aplicación deberá ser fijado por Pazo Señorans, en base a su experiencia y al vigor de la vid en el momento de su aplicación.

Así, la cantidad de nitrógeno contenida en el suelo se debe conocer a partir de experimentos realizados en la propia finca y sobre cada sub-parcela, permitiendo conocer la cantidad residual existente en cada sub-parcela. Estas cantidades residuales provienen sobre todo de tareas de abonado en años anteriores, tanto en cobertera como a fondo y que no han sido aprovechadas por la vid. Por tanto, dicha cantidad residual será restada de la recomendación dada para la vid.

Como se ha dicho, la experiencia de la Finca dictará el momento de aplicación y por tanto, definirá la fecha de adquisición de la imagen de satélite. A través de esta imagen de satélite se conocerá el vigor de la vid en el momento de aplicación, siendo el estado medio de su vigor tomado como referencia. Una imagen de satélite posterior dará información sobre el impacto de las dosis de nutrientes y las fuentes de nutrientes sobre los rendimientos de los cultivos.

Los trabajos de abonado se pueden realizar en base a que la vid sea de secano o de regadío y también, en cuanto a que la producción sea mayor o menor. Esto mismo ocurre con la precipitación acumulada recibida en la parcela a abonar.

Dado que Pazo Señorans se encuentra en una zona en la que la precipitación acumulada es la mayor de toda España, se decidió fijar un método de abonado según la clasificación de la precipitación y su variación, dado que esta puede variar según sea su momento de aplicación o si el año agrícola es seco o húmedo. Tabla 11.

Con respecto a conocer la oferta de disponibilidad de nitrógeno del suelo, se realizó un análisis de la fertilidad del mismo y ya con el conocimiento de la cantidad de nitrógeno disponible, se fertilizó solo con la diferencia requerida. Es decir, la forma más racional de fertilizar al cultivo es establecer un balance entre la oferta y demanda de nutrientes.

Tabla 11. Tabla de recomendación de abonado a utilizar, en función del tipo de vid, la precipitación y el tipo de aportación o abonado

	Precipitación l/m ²	Contenido del suelo		Abonado de fondo	
		En fósforo	En Potasio	Fórmula Abono complejo	Dosis Kg/ha.
SECANO	300-400	Normal	Normal	8 - 10 -30(con S, Mg y B)	350-450
		Normal	Normal	9-18-27	
		Normal	Alto	8-15-15	
		Bajo	Alto	8-24-16	
		Bajo	Muy Alto	8-24-8	
	400-600	Normal	Normal	8 - 10 -30(con S, Mg y B)	450-600
		Normal	Normal	9-18-27	
		Normal	Alto	8-15-15	
		Bajo	Muy Alto	8-24-8	
		Bajo	Alto	8-24-16	
REGADÍO	más de 600 l/m ² de precipitación	Normal	Normal	8 - 10 -30(con S, Mg y B)	800
		Normal	Normal	9-18-27	
		Normal	Alto	8-15-15	
		Bajo	Alto	8-24-16	
		Bajo	Muy Alto	8-24-16	

ABONADO DE COBERTERA: 250-350 Kg/ha. De Nitrato Amónico Cálcico (27%N) con Magnesio

4.4 Estimación de los parámetros de referencia basados en imágenes de satélite

El estudio evolutivo de la cubierta vegetal de la vid requiere, lógicamente, la utilización de satélites que porten sensores sensibles a aquellas frecuencias del dominio espectral en las que el comportamiento vegetal de las mismas muestra sus peculiaridades. De esta manera, la combinación adecuada de este tipo de información, puede aportar la información deseada.

La razón fundamental para la utilización de combinaciones de bandas en lugar de bandas individuales, es la mejor correlación que presentan aquéllas con magnitudes de tipo agrónomo tales como la biomasa, índice de superficie foliar, evolución, etc. Otros factores importantes en el análisis de la utilidad de los índices de vegetación obtenidos son la frecuencia temporal requerida para poner de manifiesto una evolución y la resolución espacial del sensor. Estas características se presentan contrapuestas y el objetivo del análisis decidirá la utilización de uno u otro satélite, al no ser que la frecuencia temporal sea alta.

Las plataformas satelitales que portan sensores VHR, son plataformas ágiles que permiten tomar imágenes entre -30° y 30°. Esto es una ventaja importante, debido a que la frecuencia temporal se ve favorecida, pudiendo presentarse en determinadas latitudes revisitas diarias.

A continuación se muestran los índices seleccionados para el estudio de la evolución de la cubierta vegetal del viñedo:

4.4.1 Índice de vegetación del Ratio. RVI

Esta es una de las operaciones más simples de las que puede obtenerse información de la vegetación (Pearson and Miller, 1972). Es el cociente entre bandas, dado por:

$$RVI = \frac{R_{\text{Infrarojo}}}{R_{\text{Rojo}}}$$

La manera de interpretarla es que cuanto mayor es el RVI, mayor es la emisión infrarroja de la vegetación y por consiguiente, más vigorosa.

Este índice es utilizado para estimar el PCD o lo que es lo mismo Plant Cell Density.

4.4.2 Índice de vegetación de la Diferencia Normalizada - NDVI

Como ya se ha mencionado, este es el índice de vegetación más ampliamente utilizado en la literatura de teledetección, y es más conocido por sus siglas en inglés NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Rouse et al. (1974).

$$NDVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1} = \frac{R_{\text{Infrarojo}} - R_{\text{Rojo}}}{R_{\text{Infrarojo}} + R_{\text{Rojo}}}$$

El resultado obtenido en la expresión del NDVI está acotado en el intervalo [-1, +1]; estando los valores negativos localizados en ciertos tipos de suelos muy secos, agua y nubes.

La manera de interpretarlo es que cuanto mayor es el NDVI, más vigorosa está la vegetación. Esta es la razón de proponer este índice para la evaluación del vigor de la vid.

4.4.3 Índice de Área Foliar

El Índice de Área Foliar es un parámetro biofísico que permite describir el estado y los ritmos de cambio de una cubierta vegetal, cambios que se ven condicionados por determinados manejos del cultivo como son las podas verdes. La tecnología de los sensores remotos permite dar seguimiento al crecimiento y desarrollo de la vegetación, a través de relaciones empíricas entre las variables biofísicas de los cultivos y los índices de vegetación espectrales.

La forma más representativa de todas las que definen el índice de área foliar (LAI) en función del NDVI es:

$$LAI = a \cdot e^{(b \cdot NDVI)} + c$$

siendo los coeficientes a, b y c calculados para cada especie. Dicho LAI corresponde al cociente entre el área total de las hojas verdes y el área de un metro cuadrado donde crecen. El sentido físico de esta medida es de una medida aproximada de la superficie foliar verde por unidad de radiación solar disponible.

Existen numerosos trabajos que empíricamente relacionan el LAI y NDVI, para el cultivo de la vid. Algunos ejemplos de ellos son:

$$LAI = 5.7 \cdot NDVI - 0.25 \quad (r^2=0.73, \text{ Johnson et al., 2003})$$

$$NDVI = 0.20689 + 0.43675 \cdot LAI \quad (r^2=0.92, \text{ Montero et al., 1999})$$

Dado que en Pazo Señorans no se han realizado medidas de LAI, se ha definido una tarea para identificar algunas relaciones que se aplicarán en el Pazo, siendo estas aplicadas según el vigor de la vid. Esto se debe a que cada relación está creada para distintos porcentajes de cobertura vegetal en un pixel y la cobertura vegetal será analizada a través del NDVI y de los percentiles de la sub-parcela de análisis.

Es decir, dichas relaciones se basarán en el vigor de la vid medido a través de una imagen de satélite, fijando el usuario valor mínimo/máximo de NDVI y aplicando una relación $LAI=f(NDVI)$ para cada intervalo de percentil: [0%,33%], (33%,66%) y (66%,100%).

Las relaciones serán:

$$Q0 = [0\%,33\%] \rightarrow LAI = 3,8315 \cdot NDVI + 15,134$$

$$Q33 = [33\%,66\%] \rightarrow LAI = 3,1125 \cdot NDVI + 44,712$$

$$Q66 = [66\%,100\%] \rightarrow LAI = 3,8419 \cdot NDVI + 20,521$$

4.5 Explotación de la información espacial

Como se ha comentado, la finalidad del estudio es llevar a cabo el diseño de un método para la gestión de las parcelas de viñedo a partir de Deimos-1 de forma que estuviera preparado una vez que se lanzara el satélite Deimos-2, se calibrara radiométricamente con Deimos-1 y proporcionara las primeras imágenes sobre la bodega. Con imágenes de muy alta resolución se contara con información detallada pudiendo detectar fácilmente diferencias de desarrollo dentro de la misma parcela.

4.5.1 Puntos de muestreo

Pazo Señorians definió en el año 2011 una red de puntos de muestreo, fijos en el espacio y el tiempo, los cuales estaban repartidos por toda la finca y para todo el proyecto. Sin embargo, tras el análisis de imágenes de muy alta resolución proporcionado por las imágenes de Deimos-2 adquiridas secuencialmente, casi desde su lanzamiento, se observó que el vigor de la vid iba modulándose de distinta manera, entre sitios y entre fechas.

Esto significa que la localización de los puntos de análisis debería ser cambiante entre años y entre estaciones de un mismo año. La razón radica en que el vigor de la vid varía debido a distintos factores como enfermedades, tratamientos y podas verdes que cambian a lo largo del tiempo. Así, una imagen adquirida de una fecha determinada permite conocer el vigor de la vid en dicha fecha, evaluando en base a ella si se ha recuperado o no la vid tras un tratamiento preventivo, teniendo en cuenta que la red de puntos fue seleccionada por el estado de vigor de la vid, de acuerdo con la imagen anterior.

Según la imagen evaluable, se puede definir la red de puntos o localizaciones a evaluar. Sirva de ejemplo una parcela afectada por mildium. Esto implica que análisis sobre posibles enfermedades como puede ser el grado mildium de una finca debe ser evaluado según la última imagen de satélite, ya que ésta ayuda a definir las nuevas localizaciones a vigilar según el vigor y través de las localizaciones de la última imagen con el fin de conocer si el tratamiento preventivo ha funcionado o no.

Basado en las investigaciones realizadas en esta actividad, se ha definido un procedimiento para fijar las localizaciones y así la estimación cualquier tipo de parámetro relacionado con el vigor de la vegetación. Este se puede desglosar en:

- Obtención de Mapas de Vigor de la Vid a través de datos los datos VHR de satélite
- Zonificación del vigor de la vid, mediante técnicas estadísticas, optimizando el diseño del muestreo para la ubicación de los puntos terrestres a monitorizar en la explotación

El objetivo de este último punto, es mostrar cómo zonificar una sub-parcela a través del vigor de la vid plantada mediante técnicas estadísticas y obtener el diseño del muestreo para la ubicación de los puntos terrestres a monitorizar en la explotación. Trabajos similares han sido realizados por otros autores como Montesinos S. et al. (2006).

Para ello, se elabora el mapa de NDVI desde la imagen de satélite. Seguidamente, se zonifica el mapa de NDVI analizando el histograma de frecuencias acumuladas de sus valores. Este produce una reclasificación en tres grupos o clases, si se separa por los cuantiles del 33% y 66%. Figura 43.

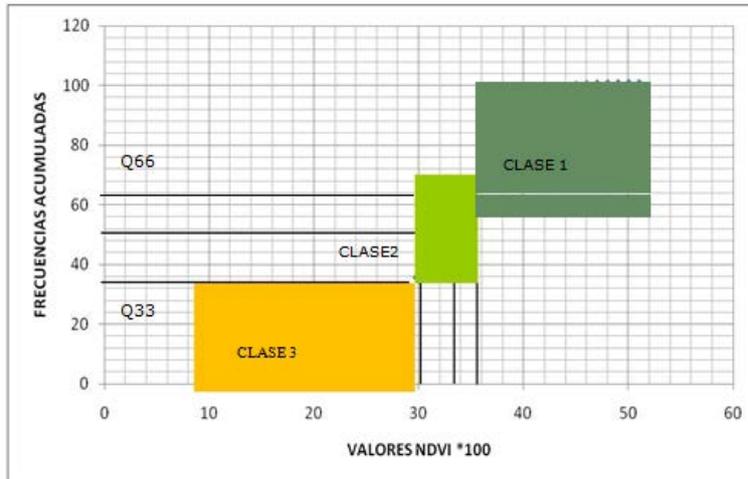


Figura 43. Histograma de frecuencias de los valores del NDVI.

Veámoslo con un ejemplo sobre la sub-parcela 5P a fecha 06-09-2014. El histograma de esa sub-parcela presenta los valores máximo/mínimo de 0.54 y 0.079, respectivamente, Figura 44, siendo sus percentiles P33=0.307 y P66= 0.355

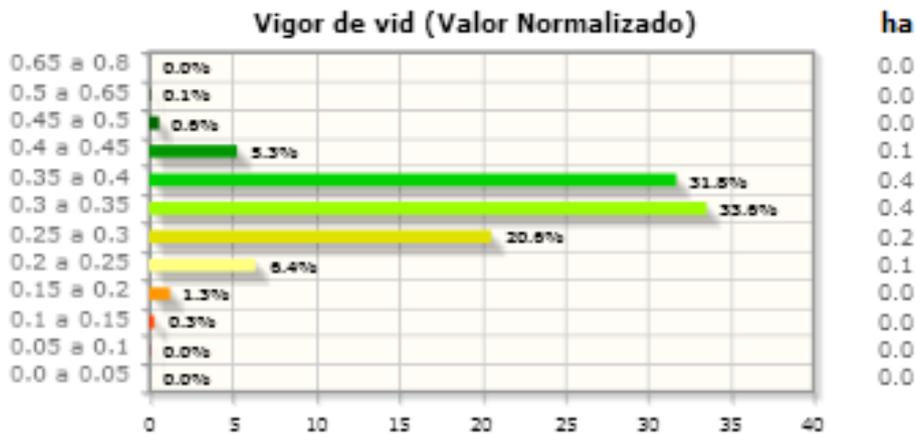


Figura 44. Histograma del vigor de la vegetación en la sub-parcela 5P de Pazo Señorans,

Clasificando en tres clases desde el mínimo hasta P33, desde P33 a P66 y desde P66 hasta el máximo, convertimos la Figura 45 de la izquierda, en la Figura 45 de la derecha. Esta última muestra aquellas zonas que estadísticamente son comparables según cada nivel. En cada una de las clases, deberá elegirse una serie de puntos de muestreo a visitar, siendo todos ellos comparables.

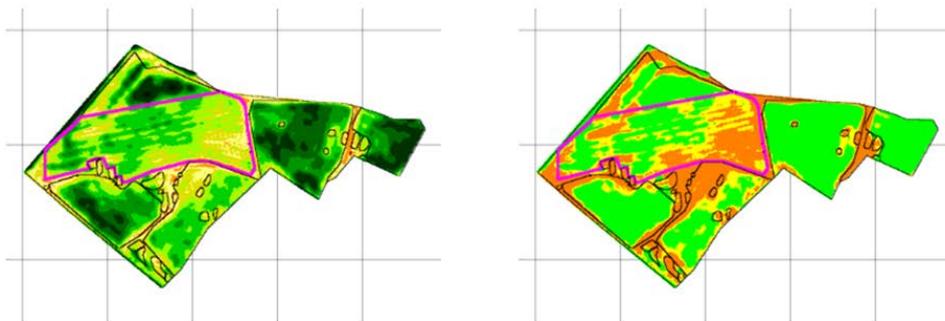


Figura 45. Zonas estadísticamente comparables en la sub-parcela 5P. Izq: Imagen Original; Der: Reclassificada según sus percentiles P33 y P66

El número de puntos a definir depende del tamaño de la sub-parcela. Se estima que entre 15 y 20 puntos por sub-parcela es lo correcto.

4.5.2 Creación de mapas de variables de campo a partir de datos de satélite

A partir del lanzamiento del satélite Deimos-2, se entra en la fase de comisionado, periodo donde se realiza un chequeo del funcionamiento del satélite y de los productos, asegurando que cumplen la calidad requerida, tanto radiométrica como geométrica. Durante esta fase se adquieren imágenes de distintos sitios definidos como Test para este fin, uno de los sitios definidos, tal como se ha mencionado, fue la bodega de Pazo Señorans con el fin de poder tener definidas las características de captura y de procesado tan pronto como se cumplieran los requisitos de calidad.

Una vez se dispuso de imágenes Deimos-2 con la calidad requerida, se llevó a cabo el procesado de las imágenes las cuales fueron utilizadas como datos de entrada en la metodología desarrollada en la fase de diseño. El producto seleccionado ha sido Bundle ortorrectificado, 4 bandas espectrales de su sensor multiespectral y la imagen pancromática. Ambas fuentes de datos vienen corregistradas entre si y corresponden al mismo marco espacial.

A partir de los productos bundle de las distintas fechas capturadas, se estimaron los mapas de NDVI, los cuales nos van a permitir la creación de los distintos parámetros característicos de la vida a partir de las ecuaciones obtenidas en la fase de diseño. La Figura 24 muestra un ejemplo de la composición a color verdadero de una captura de Deimos-2 y su correspondiente mapa de NDVI.

Para crear mapas de variables de campo a partir de una imagen de satélite, se deberá seguir el siguiente procedimiento:

- Obtención del mapa de vigor de la vida a través de los datos VHR de satélite
- Zonificación del vigor de la vida, mediante técnicas estadísticas, optimizando el

diseño del muestreo para la ubicación de los puntos terrestres a monitorizar en la explotación

- Georreferenciación de los sitios a visitar
- Adquisición de la información de campo
- Inferencia y cartografía de los valores de campo NDVI mediante técnicas de correlación y regresión
- Aplicación de los ajustes a los datos de NDVI calculados desde una imagen VHR de satélite

Las Figuras 46 y 47 muestran ejemplos de mapas de variables de campo obtenidas a través de la imagen del 06-09-2014 y los ajustes encontrados para los parámetros característicos del viñedo como el grado Briz, % Probable, Ácido Total y el Ácido Málico.

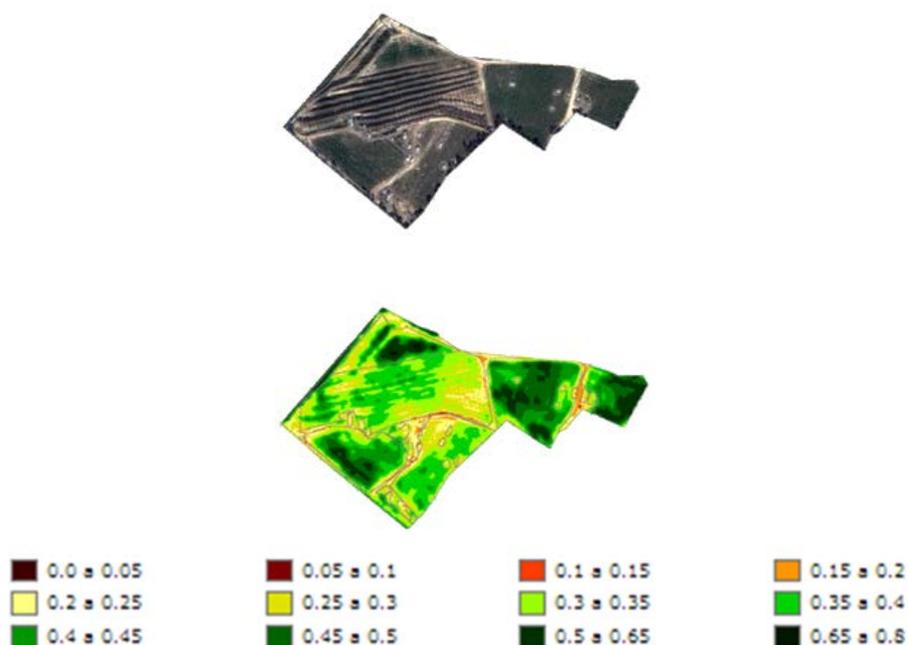


Figura 46. Imagen Deimos-2 en color verdadero y su correspondiente mapa de NDVI

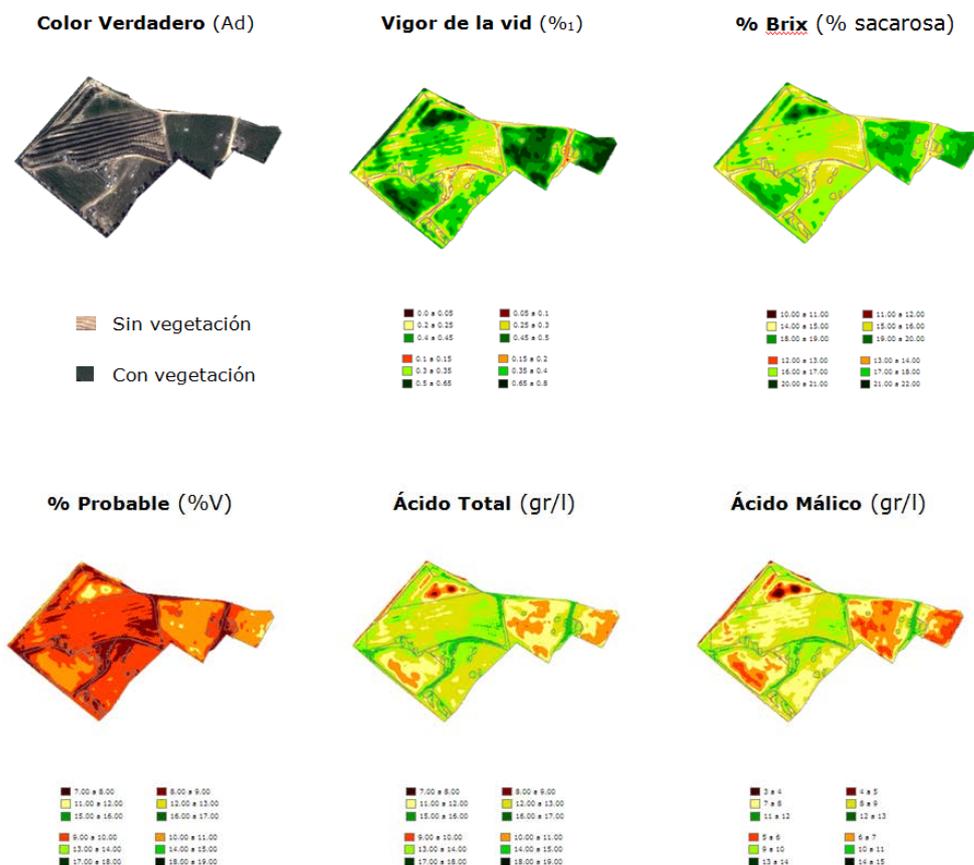


Figura 47. Composición color verdadero de las imágenes Deimos-2 a lo largo del proyecto sobre Pazo Señorans y mapas de variables de campo

4.5.3 Informes sobre el estado relativo de los cultivos

A partir de la estimación de las variables características del viñedo se puede llevar a cabo la generación de informes sobre el estado del cultivo de la vid, tanto cualitativos como cuantitativos de forma que su aplicación puede ser clasificada en tres grupos:

- **Labores de campo.** Útil para las tareas de manejo en el viñedo, estando el uso de este tipo de información asociado a:
 - El tecnólogo como usuario final, de forma que dependiendo de los medios de que disponga se necesitara un formato de entrega distinto, es decir, que la información pueda ser consultada por medio de SIG o simplemente en soporte papel
 - La cobertura telefónica del sitio. Es posible utilizar una Tablet, Laptop o Smarth Phone siempre y cuando el sitio tenga cobertura de datos
 - La cobertura GPS del sitio

- La unión de los 2 puntos anteriores, debido a que muchos GPS descargan las efemérides de la constelación GPS via red telefónica de datos
- **Labores de gabinete.** Útil para el diseño de los trabajos de manejo en el viñedo y análisis de las tareas preventivas
 - Tareas de diseño
 - Evaluación de la prevención en fechas anteriores al tratamiento
- **Labores comerciales.** Se presenta para clientes información acerca del manejo seguido en el viñedo y que podría ser utilizada desde un punto de vista comercial.

Estos tres grupos utilizan, en la viticultura, la teledetección desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo; **cualitativo** al informar del vigor de la vid sin tener necesidad de cruzar los datos de satélite con datos de control obtenidos en campo y **cuantitativo** si los datos de satélite sí que son correlacionados con los datos de campo.

Informes Cualitativos.

Como se ha comentado, este tipo de análisis no tiene la necesidad de cruzar los datos de satélite con datos de control obtenidos en campo. Es decir, muestra mapas derivados directamente de datos de satélite.

Este está formado por 4 tipos de índices o información:

- **Color verdadero.** Muestra el resultado de las bandas Roja, Verde y azul, tras aplicar el proceso de pansharpening al producto bundle. Mediante esta técnica se consigue crear una imagen de muy alta resolución con el detalle de la pancromática y el color de las bandas multiespectrales.
- **Vigor de la Vid.** Calculado a partir del mapa de NDVI
- **Índice de área Foliar.** Este índice ha sido considerado como cualitativo, pero sin embargo, podría considerarse como cuantitativo si se realizaran medidas de campo, por ejemplo, con un Licor2000.
- **Índice PCD.** Calculado a partir del mapa de Índice de vegetación del Ratio

Informes Cuantitativos.

Este tipo de análisis tiene la necesidad de cruzar los datos de satélite con datos de control obtenidos en campo y obtener resultados a partir de las ecuaciones de control. Sin embargo, es posible definir ecuaciones por fecha, permitiendo extrapolar los datos

de control al resto de la finca. Los datos de pluviometría de las estaciones meteorológicas adquiridas por Pazo Señorans, se consideran como datos de control para estimar la cantidad a nitrogenar.

Los datos que indirectamente se pueden estimar cuantitativamente, a través de la metodología desarrollada, son:

- Recomendación de nitrógeno
- Acido Málico
- Indice de Ph
- Grado Probable
- Grado Brix

Capítulo 5.- BIG DATA

El mundo actual es un mundo digital cuyo lenguaje son los ceros y unos. Ello ha permitido a las máquinas acceder a muchas tareas que, hasta hace muy poco, requerían la intervención humana multiplicando nuestras capacidades por potencias de diez. Los satélites de observación participan activamente en esta tarea de aumentar y aumentar nuestro conocimiento del planeta. Como ya mencionamos, actualmente se dispone de cuantas imágenes se deseen de cualquier punto del globo. Esta abundancia de información plantea el problema de su gestión y manejo. A cada pixel AVHRR-NOAA de 1 km² le corresponden ahora 10⁶ pixeles de 1 m² en una imagen VHR. Lo que esto implica en necesidades de cálculo, almacenamiento, tiempo de proceso etc no es trivial. Ello exige cambiar el paradigma y aceptar que estamos inmersos en una era de grandes números: el Big Data, y hay que adaptarse.

5.1 Big Data como herramienta para la Teledetección

La Teledetección Big Data está ganando más impulso dado el fuerte aumento de volumen, velocidad y variedad de datos obtenidos por los sensores. Afortunadamente, este aumento es paralelo a nuevos desarrollos relacionados con grandes volúmenes de datos y a nuevos retos en los desarrollos de hardware y software, computación de alto rendimiento, la computación en nube, la ciencia, los datos y la visualización (Ma et al, 2014; Wang et al, 2016). Además, la reciente multiplicación de iniciativas de acceso libre y abierto a grandes volúmenes de datos tomados desde el espacio está dando impulso a este campo, ampliando sustancialmente el espectro de usuarios, así como la conciencia del público al tiempo que ofrece nuevas oportunidades para los científicos y empresas de valor añadido.

En los últimos años se ha acentuado el interés en este campo celebrándose cada vez más conferencias orientadas al tratamiento y gestión de grandes volúmenes de datos tomados desde el espacio que reúnen a investigadores, ingenieros, desarrolladores y usuarios.

En 2013 la European Space Agency (ESA) organizo "Big Data from Space" la cual que tuvo lugar en el Centro de la ESA para la Observación de la Tierra (ESRIN), y tras el enorme éxito de la conferencia tuvo lugar otra en 2014 sobre grandes volúmenes de datos desde el espacio que fue coorganizada por ESA, Joint Research Center (JRC) y el European Union Satellite Centre (SatCen) también en ESRIN. La edición de 2016 (BiDS'16) ha sido de nuevo co-organizado por la ESA, el Centro Común de Investigación (CCI) de la Comisión Europea, y el Centro de Satélites de la Unión (CSUE). Se llevó a cabo en Santa Cruz de Tenerife del 15 al 17 de marzo de 2016.

El telescopio óptico en la Estación Terrestre de la ESA (OGS) en el observatorio del Teide ha sido ampliamente utilizado para experimentos de comunicación por láser que ahora utiliza de forma rutinaria el primer Satélite Europeo de Datos (EDRS-A) puesto en marcha el 29 de enero de 2016. Apodado la Data Highway, EDRS está revolucionando las comunicaciones por satélite como la primera red de comunicación óptica espacial de Europa, capaz de transmitir datos en tiempo casi real a una velocidad sin precedentes de 1,8 Gbit/s.

Muy importante es la enorme cantidad de datos que es, y será, generada por los satélites Sentinel, datos de acceso libre. Desde la última edición de la conferencia de ESA en noviembre de 2014, se han lanzado dos satélites Sentinel más operados por la ESA en el marco del programa Copérnico financiado y gestionado por la Comisión Europea: Sentinel-2A y Sentinel-3A lanzados el 29 de junio 2015 y el 4 de febrero el año 2016, respectivamente. Entregarán 0,8 TB de datos de imágenes por día en plena capacidad operativa y son herramientas clave de los servicios de Copérnico, en particular, de los relacionados con la tierra y el control del mar. Se complementan con el radar de apertura sintética del Sentinel-1A lanzado en abril de 2014.

Los Sentinel 1, 2 y 3 están cada uno de ellos diseñados como una constelación de dos satélites. El lanzamiento de la primera unidad "B", Sentinel-1B, ha sido llevado a cabo en la primavera de 2016. En cuanto a las observaciones espaciales, los observatorios virtuales están ganando cada vez más atención por parte de los usuarios.

El flujo de trabajo de los datos en Teledetección se puede englobar perfectamente dentro de las tres perspectivas del Big Data: adquisición y almacenamiento de datos, procesado de los mismos y desarrollo de aplicaciones. La Figura 48 muestra el flujo de trabajo típico en Teledetección, (Y. Ma, et al., 2014).

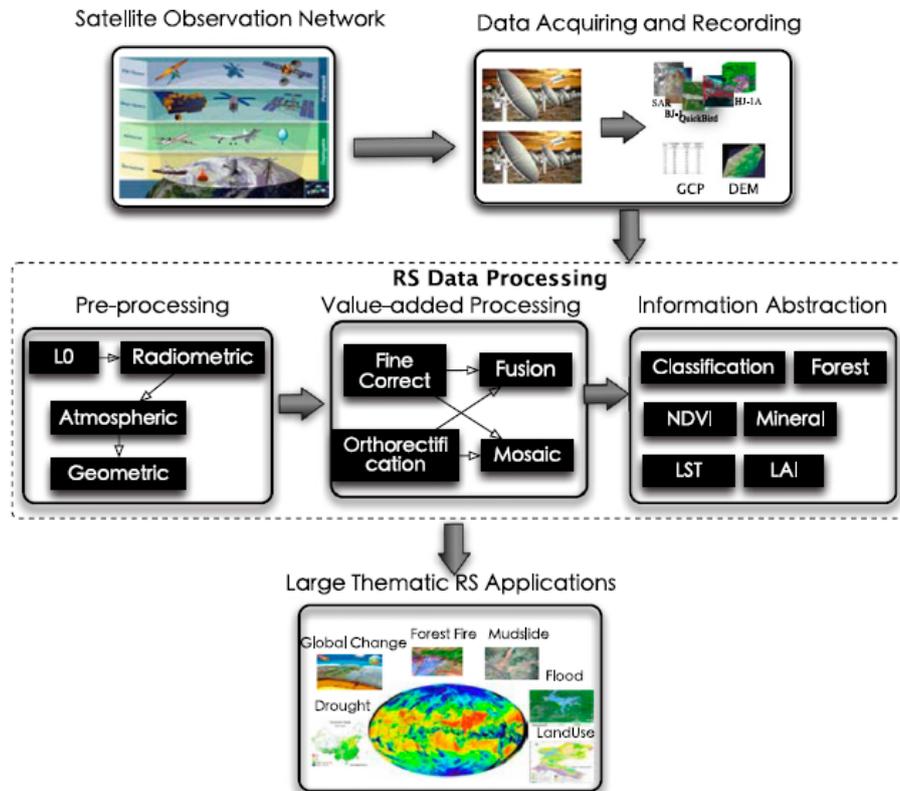


Figura 48. Esquema de trabajo de un proyecto basado en teledetección espacial

Ante la era del Big Data se hace necesaria la presencia de un mayor número de satélites, con características complementarias, de forma que los datos capturados sean apropiados para cubrir las necesidades demandadas por cualquier tipo de usuario. La expectativa es que el número de usuarios continúe incrementándose de forma que también aumente en esta medida la necesidad de datos buscando un menor ciclo de revisita y una mayor cobertura espacial. Esta necesidad puede ser cubierta con constelaciones de satélites, que dependiendo de la aplicación de Teledetección a abordar definirá su resolución espacial, espectral y radiométrica junto con las características orbitales de los mismos. Todo ello definirá el número mínimo de satélites necesario para abastecer los requisitos fijados por la aplicación a desarrollar.

Debido a la gran variedad de formatos proporcionados por distintos operadores de satélites, la necesidad de estandarización es muy alta. En este contexto surgen iniciativas como The Open Geospatial Consortium (OGC) en la que se propone el uso de estándares para un despliegue eficiente, de calidad y bajo en coste. Estos estándares incluyen Web Map Service (WMS), KML, NetCDF, Sensor Model Lenguaje (Sensor ML) entre otros.

5.2 Hacia el cambio: las nuevas Tecnologías del Big Data

Los cambios al Big Data en Teledetección no solo incluyen grandes volúmenes de datos, sino también aquellos relacionados con la adquisición, almacenamiento, compartimiento, gestión, análisis y visualización de los mismos. Según el informe 2012 de EMC/IDC la era Big Data obliga a un nuevo conjunto de tecnologías y arquitecturas diseñadas para extraer valor y beneficio de grandes volúmenes de datos con una amplia variedad en su naturaleza, mediante procesos que permitan capturar, descubrir y analizar información a alta velocidad y con un coste reducido.

Dentro de estos avances tecnológicos surgidos, sin los que sería imposible poder hacer frente a tal proliferación de datos, podemos destacar los sistemas de procesado, el sistema de ficheros en paralelo, software y modelos de programación y de gestión de datos. (Y. Ma, et al., 2014)

5.2.1 Arquitectura de sistemas Big Data: Clusters basados en HPC y las plataformas en la Nube

La Computación de Alto Rendimiento (HPC) es una tecnología que reúne diferentes áreas de la computación como algoritmos y programas que ayudan a resolver problemas complejos y avanzados de una forma rápida y efectiva. La HPC tiene como objetivo satisfacer la creciente demanda de la velocidad de procesamiento y el análisis de enormes conjuntos de datos.

La plataforma cluster basada en HPC (High Performance Computing) está formada por servidores de alto rendimiento interconectados entre si y a su vez conectados a los sistemas de almacenamiento. Estos pueden trabajar de manera individual o de forma colectiva en paralelo, de forma que se establece una comunicación entre los distintos nodos. Actualmente este tipo de arquitectura es la tendencia principal para la computación de alto rendimiento. Principalmente su configuración se lleva a cabo mediante la paralelización y optimización de las aplicaciones de forma que hagan uso de muchos núcleos de manera que se mejore el rendimiento (Wang et al, 2014). Estos sistemas ofrecen un alto nivel de capacidad de datos, posibilidad de virtualización, backup de los datos y optimización de los sistemas de gestión.

No obstante, a pesar de su tremenda capacidad de computación y su espectacular escalabilidad, estos sistemas presentan limitaciones cargando, transfiriendo y procesando grandes volúmenes de datos. Esto es debido a que el diseño ha sido centrado en la computación más que en la arquitectura del sistema de almacenado de datos. Se esperan mejoras en la arquitectura de los sistemas y en las herramientas para manejarlos.

5.2.2 Las plataformas en la nube

La computación en la nube está emergiendo como una solución a la renovación o ampliación de costosos equipo. Mediante la virtualización de la tecnología, la supercomputación ha llegado a ser más accesible y asequible. Las infraestructuras de procesamiento están virtualizadas como una computadora física real pero con procesadores más potentes y memoria y tamaño en disco adaptables al usuario. La computación en la nube está disponible bajo demanda y proporciona servicios de forma flexible y escalable desde localizaciones remotas. Otro punto a favor es que el almacenamiento en la nube proporciona herramientas para el tratamiento de Big Data con muy buena escalabilidad.

El creciente éxito de la computación en la nube es debido al cada vez menor coste y cada vez más extendida presencia de redes rápidas, lo cual hace económicamente viable acceder remotamente a grandes cantidades de datos casi en tiempo real.

Las plataformas en la nube pueden ser clasificadas dentro de tres grandes grupos dependiendo del tipo de servicio que proporcionan: infraestructura, plataforma y servicio, Figura 49.

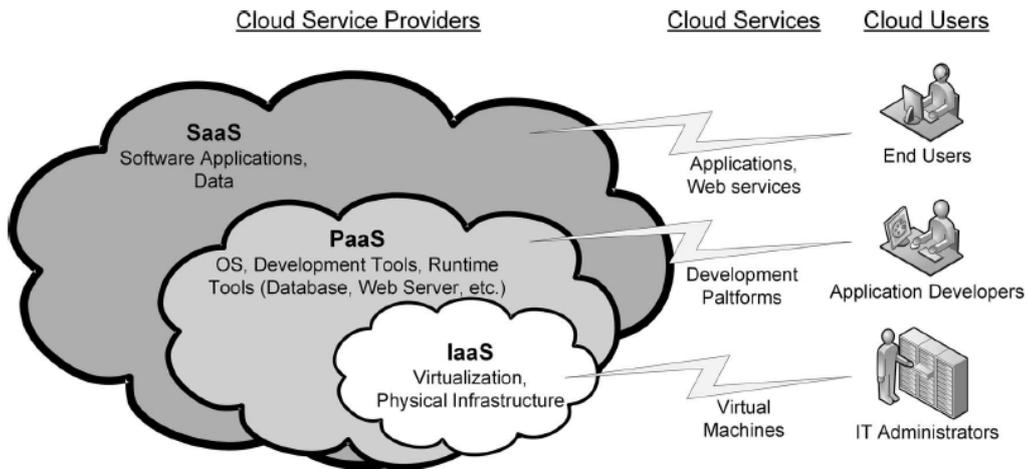


FIG. 1. Different types of cloud services.

Figura 49. Diferentes tipos de servicios en la nube

Infraestructura como servicio (IaaS): proporciona la infraestructura necesaria para ejecutar aplicaciones. Esto incluye almacenamiento, memoria y procesadores. En esta configuración, los proveedores de servicios en la nube pueden proporcionar máquinas virtuales bajo demanda con fuentes configurables. Puede permitir también el alquiler de máquinas sobre las que pueden instalar sus propios sistemas operativos, redes, tecnología de virtualización y otras aplicaciones sin preocuparse si las máquinas llegan a ser obsoletas y fuera necesario reemplazarlas, o si están en reposo y malgastando

recursos. Además mediante este modelo, la virtualización facilita una rápida recuperación del hardware y fallos del sistema. Así, los clientes pueden evitar la inversión inicial que supondría comprar el hardware de su propia plataforma. Como ejemplo de proveedores podemos destacar AWS de Amazon, IBM Cloud, EMC y Cisco.

Plataforma como servicio (PaaS): incluye todas las características proporcionadas por IaaS, pero en este caso el proveedor ofrece un entorno de desarrollo de forma que permite a los clientes desarrollar sus propias aplicaciones usando las herramientas de la plataforma, sin tener que instalar y mantener las herramientas. Los usuarios obtienen acceso a los sistemas operativos (SO) y herramientas asociadas (servidor SQL, Apache, etc.) y no tienen que preocuparse acerca del mantenimiento de sus SO y actualizaciones de antivirus. Como ejemplo de este modelo están Windows Azure, Google App Engine y Salesforce.

Software como Servicio (SaaS): se refiere al software instalado en la nube y elimina la necesidad de instalar y correr aplicaciones de software sobre los ordenadores locales del cliente. Con SaaS, los proveedores instalan, gestionan y operan las aplicaciones son accesibles desde distintos dispositivos cliente a través de una interfaz ligera, el usuario no tienen ningún conocimiento de la infraestructura subyacente. Aunque el coste es muchísimo menor, el usuario cuenta con menor flexibilidad. Como aplicaciones típicas podemos destacar Gmail, Google Docs y Dropbox.

5.2.3 Sistemas de ficheros en paralelo y Base de Datos

Las principales funcionalidades de los sistemas de almacenamiento Big Data deberían ser una amplia capacidad de almacenaje, alto rendimiento Entrada/Salida (I/O) y elevada escalabilidad. Para solventar estos requisitos, actualmente existe la tendencia a técnicas para gestión y almacenamiento Big Data basadas en sistemas de ficheros en paralelo y bases de datos NoSQL.

El sistema de ficheros en paralelo (PFS). Los sistemas de ficheros en paralelo son ampliamente utilizados en sistemas HPC donde las I/O se presentan como el mayor cuello de botella y especialmente cuando está en juego una elevada cantidad de datos. Mediante paralelización se permite utilizar muchas máquinas (decenas, centenares o incluso miles de ellas) para realizar colaborativamente una misma tarea y conseguir que esta acabe en un tiempo breve, o al menos razonable.

Así mediante el sistema de ficheros en paralelo se pueden almacenar y gestionar datos masivos en una capacidad de almacenaje que alcanza los petabytes de tamaño pudiendo acceder a datos solicitados desde diferentes lugares de almacenado simultáneamente.

Base de datos NoSQL. Cuyo significado es "no solo SQL", están diseñadas para manejar una extrema cantidad de datos. Comprende una amplia gama de tecnologías y

arquitecturas buscando resolver los problemas de escalabilidad y rendimiento de Big Data siendo especialmente útil cuando se necesita acceder a datos no estructurados o que se almacenan de forma remota en varios servidores virtuales en la nube. Contrariamente a lo que cabe esperar de su nombre, permite el lenguaje estructurado de consultas (SQL). La base de datos NoSQL más popular es Apache Cassandra, que una vez fue la base de datos propietaria de Facebook, fue liberada como código abierto en 2008.

5.2.4 Software de programación: El proyecto Apache™ Hadoop

La plataforma Hadoop, representada por un elefante amarillo, desarrolla software libre para el cálculo distribuido, fiable y escalable. Esta herramienta de software permite escribir con facilidad y ejecutar aplicaciones que procesan enormes cantidades de datos. Incluye sistema de ficheros distribuidos Hadoop y Map Reduce como motor de cálculo offline. Sus características principales son escalabilidad, eficiencia, fiabilidad y bajo coste.

Modelos de programación

Entre los modelos de programación, MapReduce está muy extendido dentro de soluciones Big Data, especialmente el sistema Hadoop. Hace ya unos años, los ingenieros de Google publicaron dos artículos que cambiaron la visión de IT. El primero, "The Google File System", introdujo una nueva manera para almacenar enormes cantidades de datos a bajo coste. El segundo, "MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters", explicando un modelo de programación para la implantación de un almacenamiento de datos en un gran número de servidores de bajo coste.

Un empleado de Yahoo, Doug Cutting, usó las ideas de ambos artículos como un marco general para Big Data, Hadoop, cuyas principales características son el sistema de ficheros distribuidos Hadoop (HDFS) y el motor MapReduce. Map es la función aplicada a la base de datos, principalmente en bloques de ficheros HDFS localizados en distintos servidores, y genera parejas de Clave/valores. Estas parejas son desplazadas a otro nodo de procesado mientras se clasifican las claves y mezclan sus valores. Entonces la función Reduce aplica y toma como su argumento la clave y la lista agregada de valores desde la que se genera la salida. Otras funciones incluyen la clasificación y particionamiento de los datos

5.3 Limitaciones y oportunidades del Big Data en Teledetección

Siendo todavía un fenómeno en evolución, el alcance real del Big Data en Teledetección no se puede predecir. Hasta ahora las técnicas de Teledetección han sido empleadas con éxito para diferentes aplicaciones, tales como emergencias, aplicaciones de agricultura, cambio global, estimaciones de globales de recursos forestales, aplicaciones oceánicas, planificación urbana. Combinada con actividades

humanas y datos procedentes de otras ciencias sociales, las técnicas de Teledetección han llegado a ser poderosas herramientas para mejorar significativamente la efectividad de producción y operación para el bienestar humano. De esta manera, el Big Data en Teledetección proporciona la capacidad para conseguir propósitos que son imposibles por las técnicas tradicionales.

Los datos a menudo proceden de fuentes heterogéneas y requieren importantes esfuerzos computacionales. Por lo tanto, la gran oportunidad es integrar los datos de Teledetección junto con otros datos externos para transferir de potencialidad a realidad. En este contexto, podemos beneficiarnos de grandes escalas, consistencia, repetitividad y alta calidad de los datos y las distintas herramientas que nos proporciona el Big Data en Teledetección para abordar numerosos tipos de aplicaciones.

A pesar de todos los avances, las técnicas y los sistemas actuales, todos son todavía limitados para resolver algunos problemas reales del Big Data aplicado a la Teledetección como son la gestión efectiva y masiva de datos de observación de la Tierra, descarga y transmisión de los datos, la programación optimizada de tareas dependientes unas de otras y la programación eficiente/productiva de aplicaciones de Teledetección en sistemas con procesamiento en paralelo.

El significativo crecimiento de los volúmenes de los datos unido a los algoritmos de procesado, cada vez más complejos, sugieren cambios sustanciales en los mecanismos de procesado y distribución.

A continuación se va a mostrar la efectividad que el Big Data puede aportar a la Teledetección tradicional en las distintas aplicaciones mostradas en los capítulos anteriores. Para poder englobarlo como Big Data no solo debe cumplir el hecho de disponer de un elevado número de datos, sino también que esté enmarcado en un sistema en el que se pueda disponer de información adicional procedente de bases de datos estructuradas y fuentes abiertas externas de forma que la información y conocimiento que se extraiga proceda del procesamiento y análisis de todo ello. Con la finalidad de cubrir las necesidades de todo tipo de usuarios, se propone la creación de una infraestructura genérica en la nube de forma que se pueda proveer un servicio de provisión de datos, el desarrollo de aplicaciones y la plataforma de servicios. Esta infraestructura debe ser flexible de forma que se adapte a las fuentes de información, herramientas y finalidades específicas de cada aplicación. De esta forma solo se deberá cambiar la configuración a la hora de aportar una solución a una nueva aplicación.

Para llevar a cabo esta infraestructura primeramente deben establecerse las tareas a realizar:

- Crear un centro virtualizado de datos distribuidos de observación de la Tierra, capaz de aceptar datos de diferentes satélites.

- Proporcionar acceso a otras fuentes de datos externos, como bases de datos meteorológicos o modelos digitales del terreno
- Provisionar la infraestructura necesaria para la plataforma en la nube que permita el archivado, procesado y distribución de los datos de observación de la Tierra y de otras fuentes
- Organizar un entorno de desarrollo de procesos para establecer una cadena de procesado de datos de observación de la Tierra. Se contemplará la posibilidad de que los usuarios desarrollen sus propias aplicaciones de forma que se puedan aplicar en su producto final
- Establecer una competencia comprensiva en el almacenado, procesado y análisis de datos de la observación de la Tierra basada en técnicas de Big Data

Los análisis necesarios para las aplicaciones serán llevados a cabo por tareas en paralelo, y la programación adecuada y priorización de estas tareas serán decisivas para la optimización de los recursos y su tiempo de ejecución.

La infraestructura básica propuesta para la nube se muestra en la Figura 50. La definición de cada uno de sus componentes dependerá de la aplicación específica para la que ha sido desarrollada.

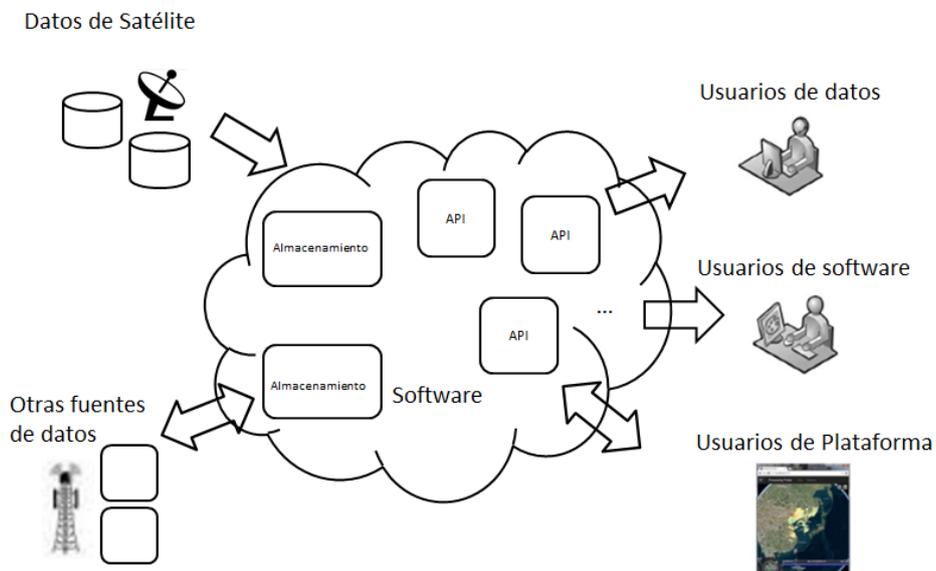


Figura 50. Elementos que configuran la infraestructura básica de la nube

Conjuntamente a la provisión de servicios de software y de plataforma se unirá la provisión de infraestructura para dar soporte y posibilitar los procesos colaborativos de

desarrollo de software a través de repositorios compartidos de código, desarrollos de la plataforma y una serie de herramientas web basadas en la nube para el almacenado e intercambio de conocimiento e información y gestión.

5.4 Teledetección, Big Data e inundaciones

Dentro de este tipo de aplicación, las dificultades encontradas por la Teledetección tradicional son la disposición en tiempo real de los datos, procesado de los mismos y toma de decisiones para una respuesta inmediata para la gestión del evento. Al declararse una emergencia, existe una respuesta generalizada, voluntaria o bajo petición, por parte de los operadores de satélites para ayudar con la toma de imágenes sobre la zona afectada; de esta forma aparece el termino de variedad de datos a la que se debe hacer frente de forma que se unifique la información para poder utilizarla de forma ventajosa desde las características propias de cada uno de los datos.

Será necesario otro tipo de información como modelos digitales del terreno, cartografías de la zona, datos meteorológicos etc., los cuales también estarán disponibles para la gestión del desastre y su toma de decisiones.

De esta forma, las tecnologías Big Data permiten hacer frente a estas dificultades pudiendo minimizar el tiempo de respuesta considerando toda la información posible. La Figura 51 muestra el esquema propuesto para las inundaciones en la Cuenca del Ebro, que es el caso de estudio escogido para la aplicación de desastres naturales.

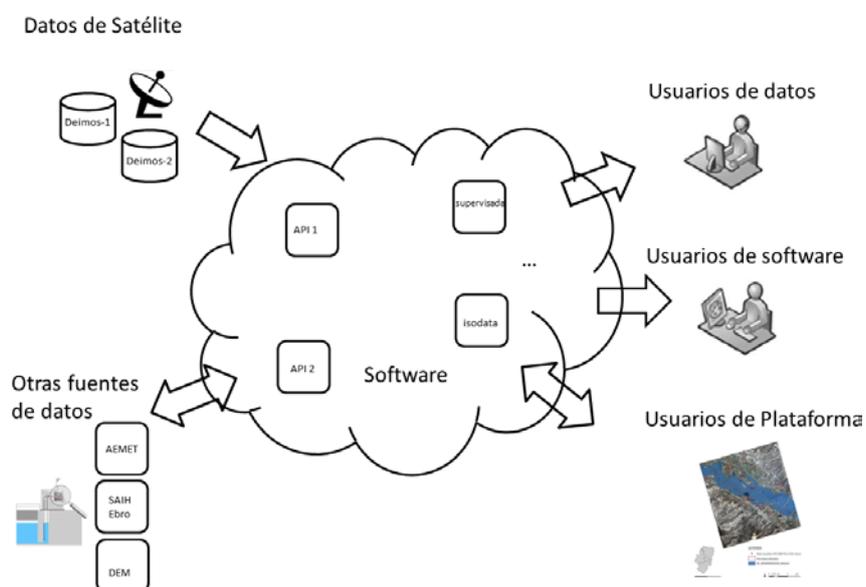


Figura 51. Esquema de elementos integrados en Big Data para la gestión de inundaciones

Tan pronto como la cadena de procesado ha generado los productos Deimos-1 y Deimos-2 adquiridos para hacer frente al desastre, se transfieren al almacenamiento de

datos de la nube. Si la finalidad del usuario es sólo acceder a los datos, inmediatamente podrá descargarlos y hacer el uso correspondiente de ellos.

Fuentes de información adicionales conectadas al sistema como las proporcionadas por SAIH u otra Confederación Hidrográfica permitirán conocer la velocidad del agua y la altura de la lámina de agua permitiendo fusionar los datos con los proporcionados por el satélite, el modelo digital del terreno y la cartografía de la zona, sirviendo todos ellos como entrada para los distintos modelos hidrológicos que proporcionarán información del avance de la inundación de forma que se pueda conocer la evolución del caudal del agua. Estos modelos estarán implementados en aplicaciones de software con algoritmos complejos de forma que se obtengan los resultados definidos por los requisitos de usuario.

El sistema también permite técnicas empleadas en la Teledetección tradicional como la clasificación no supervisada tipo isodata, donde el usuario final obtendrá la cartografía de la lámina de agua resultado de la inundación discriminando entre las distintas clases resultantes. Adicionalmente, el sistema está diseñado de forma que permite a usuarios de software el desarrollo de otro tipo aplicaciones con diferentes técnicas en el manejo de datos.

Para los usuarios de aplicaciones, la plataforma se presenta como la solución más rápida, cómoda y versátil para la toma de decisiones a partir de las distintas fuentes de datos y su tratamiento a partir de las distintas aplicaciones (API) existentes en la nube. Gracias al procesado en paralelo y la computación de alto rendimiento los productos de valor añadido procesados a partir de las imágenes de satélite y las distintas fuentes externas, estarán disponibles de manera casi inmediata. Independientemente de la variedad y complejidad de las técnicas utilizadas para procesar los datos; será a partir del resultado de este donde se obtenga la información necesaria para llevar a cabo la toma de decisiones para la evacuación, evaluación del alcance, rutas alternativas de escape y estimación de pérdidas. La visualización adecuada de los resultados combinados con el uso de utilidades GIS y de análisis como son la medida de distancias, áreas, activación de capas, facilitarán el proceso de la toma de decisiones al usuario.

5.5 Teledetección, Big Data y la estimación del impacto ambiental de la deforestación en países tropicales

La necesidad de acceder a bases de datos históricas de observación de la Tierra se ha incrementado en los últimos años principalmente para aplicaciones de vigilancia del medio ambiente. En los próximos años se espera que la demanda del número de estas series de datos temporales continúe creciendo. Las bases de datos de imágenes deben estar perfectamente identificadas y documentadas de forma que debe existir una definición adecuada de los diversos data set conteniendo información correspondiente a sus distintas características como son los niveles de procesado, algoritmos aplicados, calidad u orto-rectificación.

Dentro del caso de estudio de estimación del impacto ambiental de la deforestación en países tropicales, en el cual el análisis temporal juega un papel decisivo, la tecnología Big Data nos aporta la infraestructura, técnicas y capacidad para llevar a cabo su propósito. Además del gran volumen de datos, la capacidad de procesado para los distintos procesos intermedios como cobertura nubosa, los algoritmos de rellenado de los datos, y la posibilidad de contar con datos Landsat-8 o Sentinel-2 como fuente completaría en el caso de no disponibilidad de datos Deimos-1 dificulta a la Teledetección tradicional llevar a cabo esta misión.

La combinación de las distintas APIs, donde están implementados los complejos algoritmos para las distintas técnicas de procesado, permitirán el análisis y procesado de los datos proporcionando la información necesaria para el usuario de la plataforma permitiendo la visualización y manejo de sus herramientas para la toma de decisiones. El usuario de plataforma podrá llevar a cabo el desarrollo de nuevas APIs si desea trabajar con nuevos modelos o simplificar los existentes.

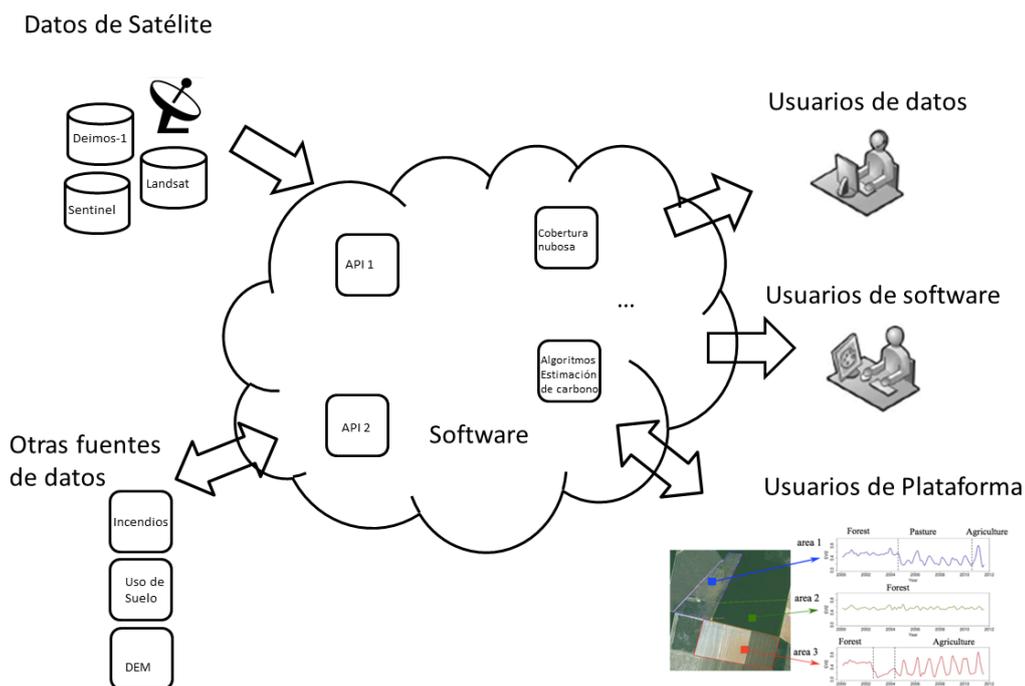


Figura 52. Esquema de elementos integrados en Big Data para la vigilancia medioambiental

A continuación se muestra un prototipo de herramienta de gestión para el usuario de datos implementada en la nube. La herramienta tipo web permitirá el acceso al almacenamiento donde se encuentra la base de datos de satélite, consultas avanzadas a la base de datos y descarga masiva de datos por parte del usuario. Tras arrancar la

herramienta el usuario tendrá que proporcionar su nombre de usuario y contraseña para poder acceder a la nube, tal y como se muestra en la Figura 53.

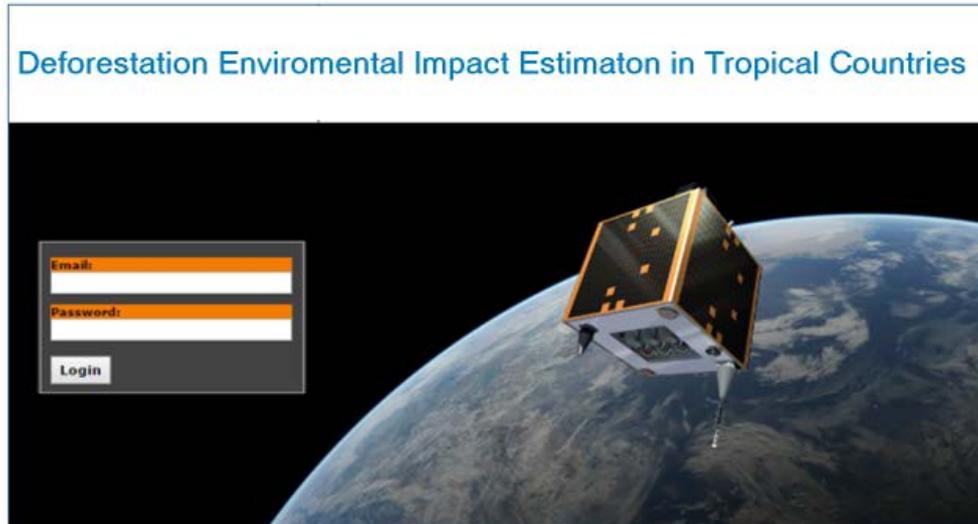


Figura 53. Aspecto de la herramienta

Una vez accedemos con las credenciales de manera correcta, la herramienta web proporciona una visión general y práctica para la consulta según distintos criterios, incluyendo la consulta espacial en Tailandia y Paraguay, países seleccionados dentro del caso de estudio para la monitorización de impacto ambiental. Ver Figura 54.

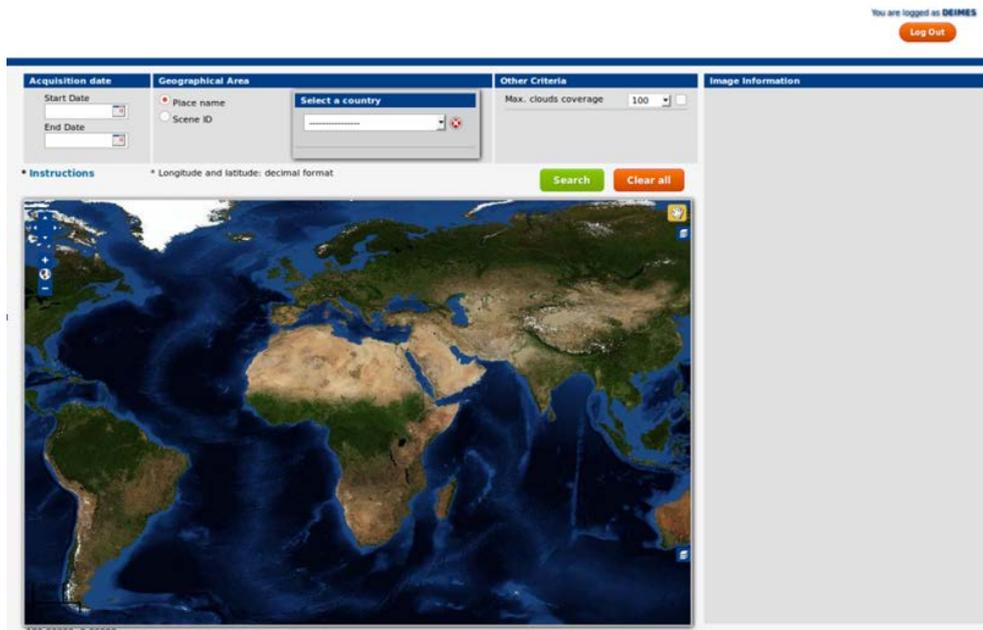


Figura 54. Aspecto de la herramienta una vez acceda el usuario

Gracias a la dinámica de uso, se puede adaptar las búsquedas mediante ventanas temporales (entre dos fechas), localización de áreas de interés o incluso búsqueda individual de imágenes, según su identificación. En ella se cuenta con una serie de secciones con diferentes criterios, los cuales permiten realizar búsquedas de imágenes y productos.

Como primera opción se encuentra el criterio de búsqueda temporal, donde se selecciona la fecha de inicio y fin de las adquisiciones a buscar. Clicando sobre la opción de fecha aparecerá un calendario intuitivo. Ver Figura 55

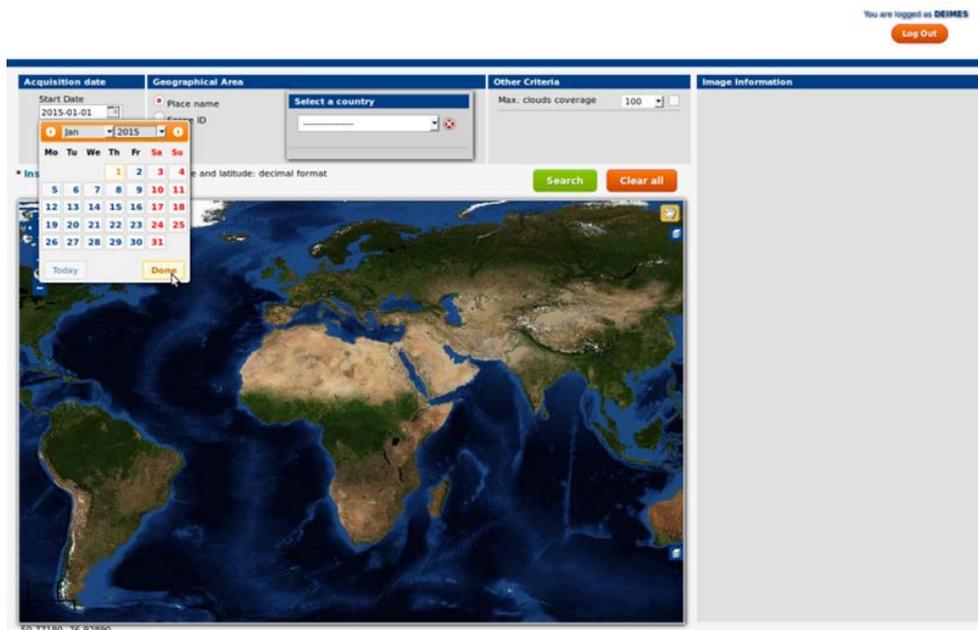


Figura 55. Aspecto de la herramienta al seleccionar el criterio de búsqueda temporal

Como segunda opción se cuenta con la consulta espacial que permitirá la búsqueda geográfica, donde podemos seleccionar el país o zona de interés. Para nuestro caso de estudio la herramienta limita las búsquedas a los 2 países de interés: Tailandia y Paraguay. Ver Figura 56. Bajo esta opción de búsqueda geográfica, también se puede realizar la búsqueda mediante el identificador de la imagen o incluso con una lista de identificadores de imágenes. La opción por identificador, en adelante ID, suele ser útil si el usuario se encuentra leyendo un informe donde aparecen una serie de identificadores y se desea visualizar su ubicación en el mapa o simplemente descargar los productos.

Otra opción que se dispone a través de esta herramienta es la de búsqueda por otros criterios. Ver Figura 57. Sirva de ejemplo, el porcentaje máximo de nubes presente en la escena. Esto es posible gracias a la estimación desde el producto máscara de nubes del cual es posible descargar desde esta herramienta. También está permitido fijar un

umbral de porcentaje de nubosidad y realizar una consulta obteniendo el resultado. Una vez claros los criterios de búsqueda, pulsando el botón de «Search», se mostrarán tanto en el panel de la derecha como en el mapa, la información de las imágenes u productos que coinciden con las opciones de búsqueda. Ver Figura 58.

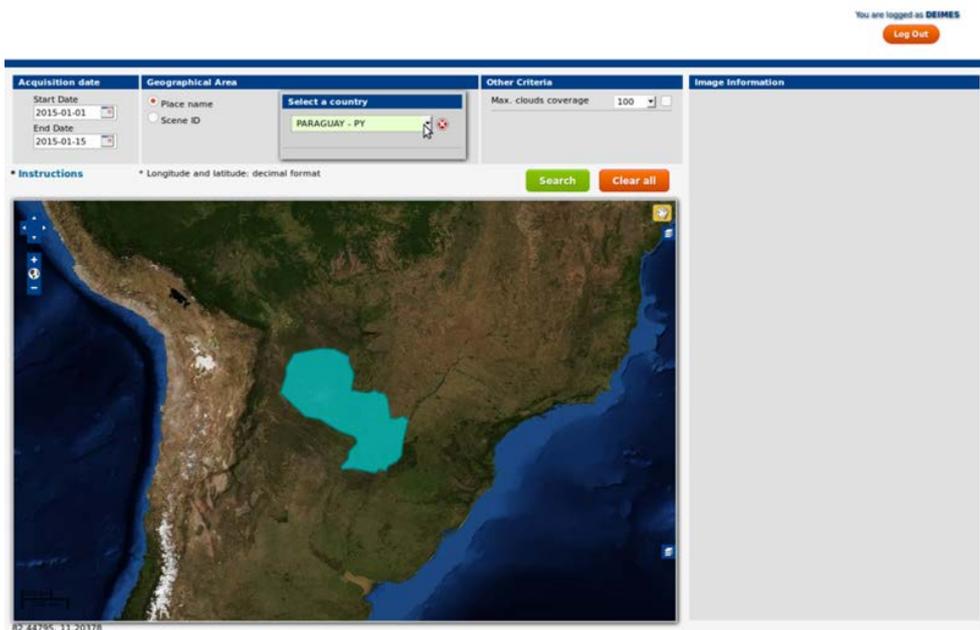


Figura 56. Aspecto de la herramienta al seleccionar el criterio de búsqueda geográfica

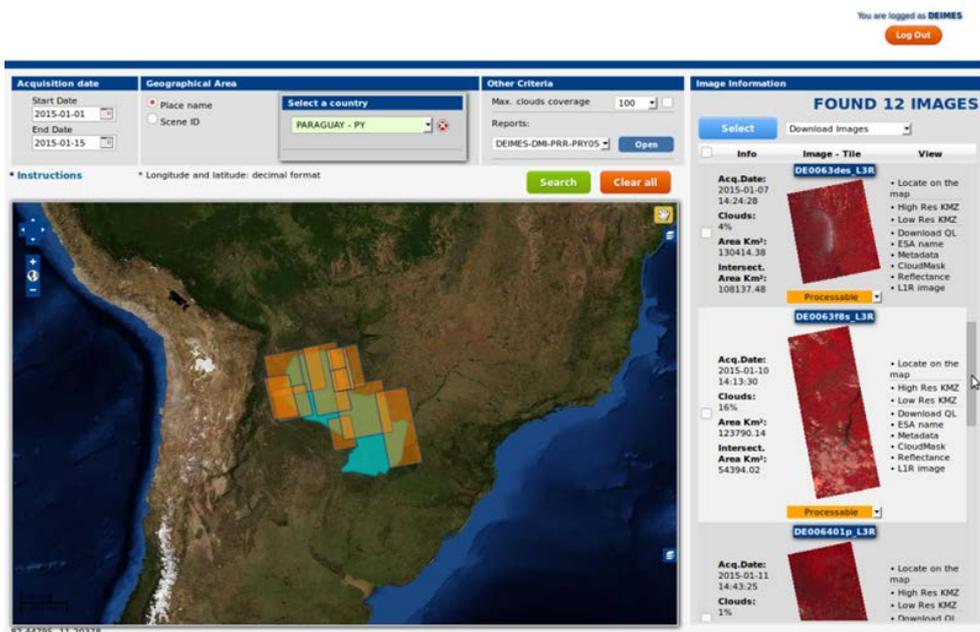


Figura 57. Aspecto de la herramienta al seleccionar todos los criterios citados

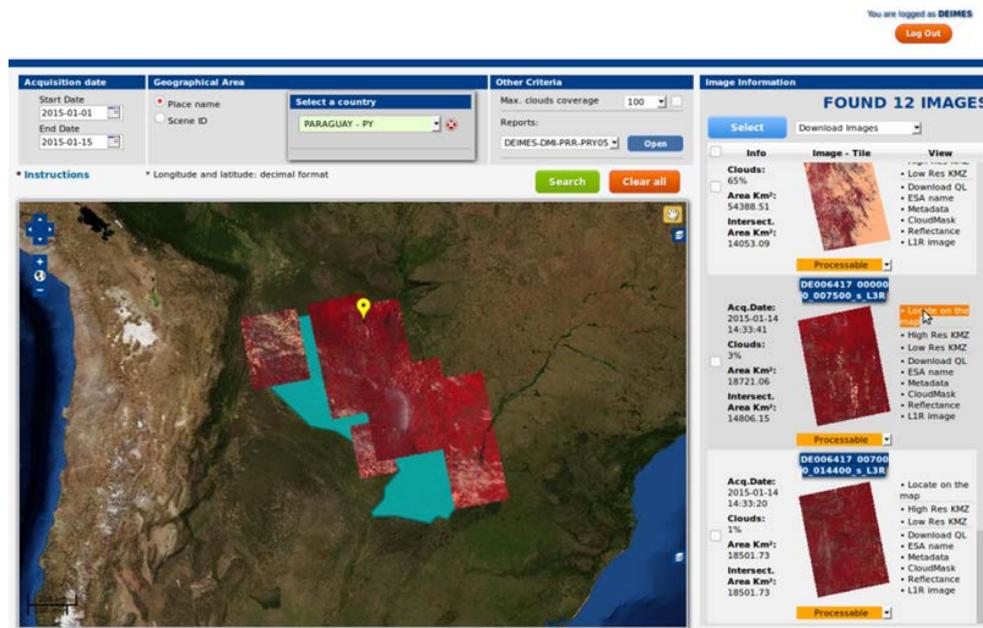


Figura 58. Aspecto de la cobertura Deimos-1 de Paraguay 1 tras aplicar todos los criterios citados

Una vez finalizada la búsqueda, se puede interactuar con la información obtenida. En la opción de otros criterios, aparece una colección de informes relacionados con la selección buscada, donde se podrán descargar a partir del botón «Open».

En la ventana de información de cada una de las imágenes, se muestran las imágenes en el denominado falso color, siendo la unión multiespectral de las bandas Infrarroja cercano (NIR), Roja (RED) y Verde (GREEN). En dicho apartado se puede ver, el identificador de las imágenes (DE00...), la fecha de adquisición de la escena, el porcentaje de nubes, el área de la escena en km² y el área con la intersección del país. La opción «locate on the map» posiciona la imagen en el mapa mediante un pequeño quicklook. Esta opción es muy interesante para hacerse una idea rápida de cómo quedarían las uniones de las imágenes en el mapa a la hora de completar la cobertura. Ver Figura 59.

Seleccionando la imagen en el mapa o a partir del ID de la imagen en la zona de información, se desplegará más información, además de haber una interacción biyectiva entre ambas secciones, dicho de otro modo, se puede interactuar de mismo modo, tanto desde el mapa como desde la lista de imagen. En la Figura 59 se pueden ver parámetros como los ángulos de visión del satélite y ángulos solares.

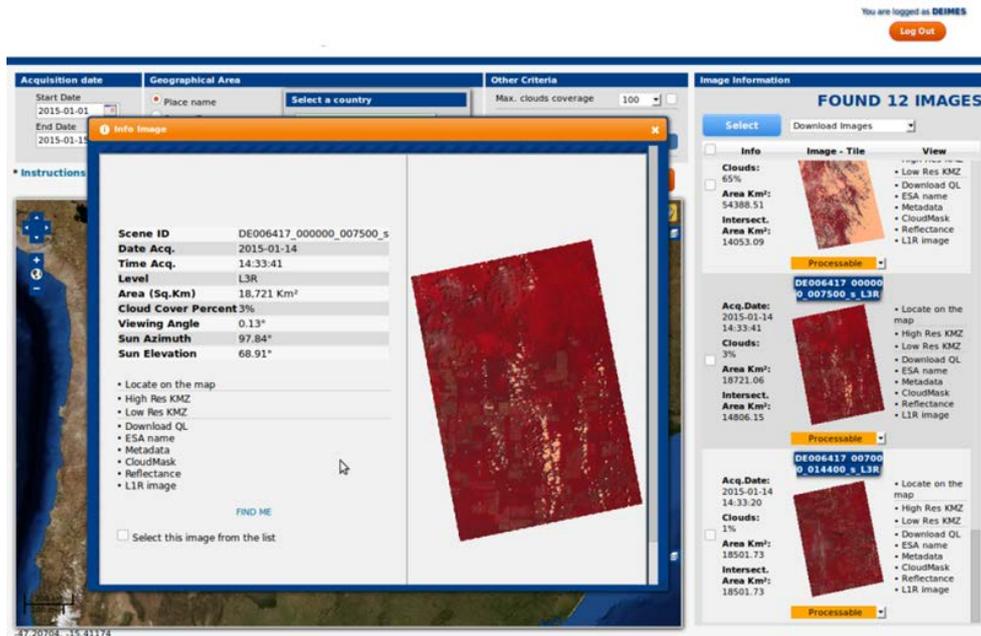


Figura 59. Aspecto y metadatos de una imagen mostrada en la herramienta

Otras opciones externas de visualización de estas imágenes serían la descarga de los ficheros KMZ1 de forma que se pueda visualizar el estado de la cobertura seleccionada en Google Earth u otro tipo de herramientas GIS en el ordenador local del usuario. En el menú existe la posibilidad de descargar el KMZ en alta resolución, lo que adjunta los quicklooks en el fichero y hace que ocupe más megabytes, y KMZ en baja resolución, en vez de adjuntar los quicklooks al fichero, crea un hipervínculo y mediante internet se van cargando dinámicamente. Ésta opción de baja resolución hará que el fichero ocupe menos megabytes. Ver Figura 60

Una vez realizadas las consultas necesarias, el usuario selecciona los datos en los que está interesado y selecciona la opción «Download images». Debido a que el copiado masivo de datos desde la nube suele incurrir en costes será necesaria confirmación de descarga mediante contraseña como medida de seguridad ante posibles fallos o intrusiones.

1 Los archivos KMZ (Keyhole Markup Zip) permiten empaquetar varios archivos juntos y comprimen el contenido para que sean más fáciles de descargar. Esto te permite unir imágenes al archivo KML.

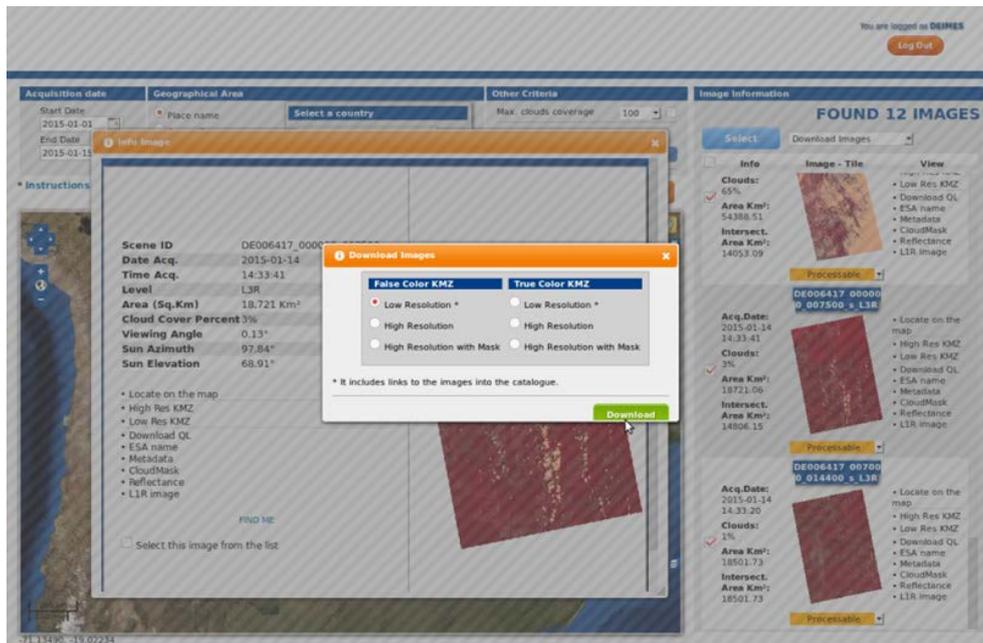


Figura 60. Descarga de ficheros KMZ asociados a la imagen seleccionada

Mediante el botón de «Select» también podemos seleccionar otras opciones como exportar la información seleccionada a fichero excel: «Export XLS» o sacar un informe de estudio de viabilidad en formato pdf: «Feasibility Study». Ver Figura 61.

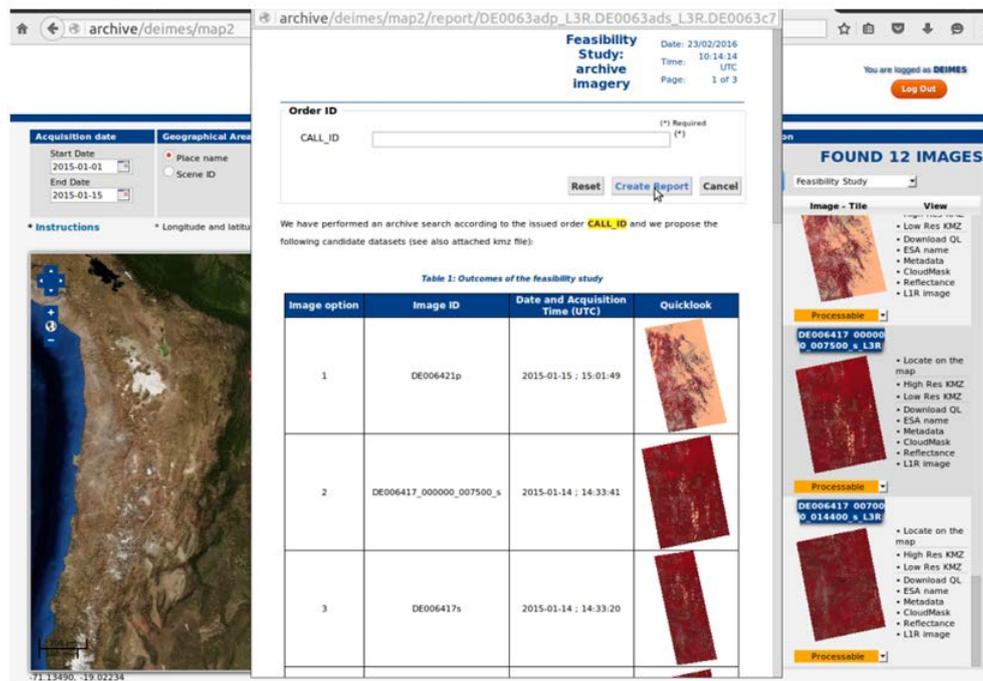


Figura 61. Exportación de la información en formatos alternativos

5.6 Teledetección, Big Data y agricultura

Son numerosas las aplicaciones de la Teledetección aplicadas a la agricultura, entre ellas podemos destacar el sistema de riego variable, predicción de cosechas y evaluación de la sequía. Cooperativas Mundiales como Monsanto utilizan este tipo de tecnología para la gestión de sus parcelas con el fin de detectar problemas de crecimiento y controlar sus sistemas de gestión de riego. No menos numeroso es el caso del viñedo donde la Teledetección ha jugado un papel destacado en la ayuda de toma de decisiones en la gestión de las parcelas.

A partir de la Teledetección tradicional se han llevado a cabo innumerable proyectos de forma que la metodología de trabajo está ya muy definida. El aumento de usuarios de Teledetección formando cooperativas, instituciones gubernamentales, o empresas que venden servicios de aplicaciones procedentes de datos de observación de la Tierra junto con la gran cantidad de fuentes de bases de datos con datos del suelo, meteorológicos etc. hacen necesario el manejo de técnicas Big Data para este fin. Los datos son principalmente requeridos en alta y muy alta resolución con el fin de detectar comportamientos anómalos dentro de las parcelas y con resolución temporal elevada, preferiblemente uno o dos días, de forma que se pueda llevar una gestión diaria ante problemas como pueden ser las plagas o los hongos. Estos datos de satélite son cruzados con otro tipo de datos como son los de humedad, variabilidad del suelo u otros de forma que se multiplica su complejidad de procesado.

A continuación se muestran las técnicas Big Data aplicados al caso de estudio ya presentado en los viñedos de Pazo Señorans. Como datos de entrada se utilizará Deimos-2, permitiendo el uso de otros tipos de satélites como apoyo tales como Dubaisat-2 o Kazeosat-2. Como fuentes adicionales de datos se definirán los sensores localizados en los viñedos que proporcionarán parámetros del estado de la uva, las estaciones meteorológicas y datos auxiliares como son la clasificación del tipo de uva por parcela o la cartografía de las parcelas. Figura 62.

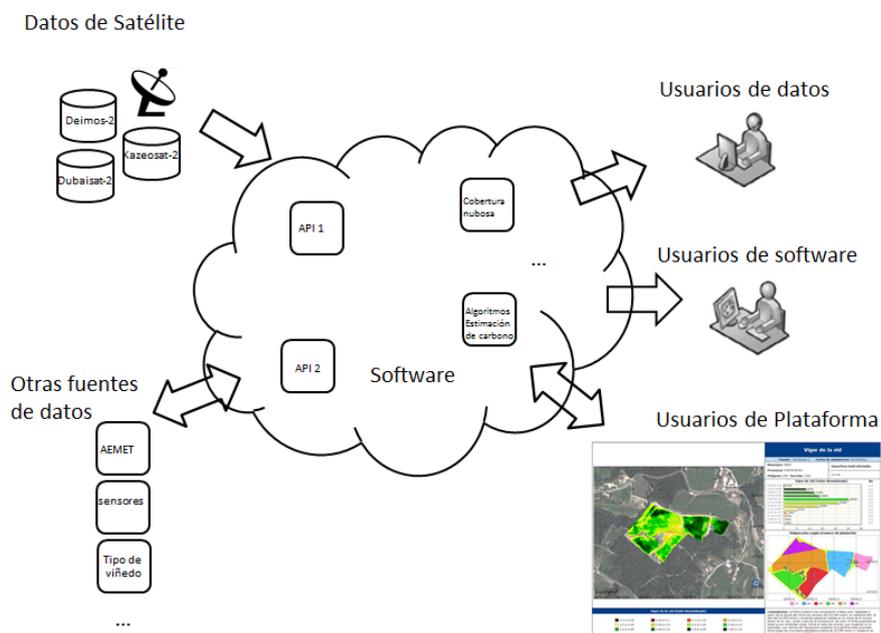


Figura 62. Esquema de elementos integrados en Big Data para la gestión de la vid

Una vez procesados los datos Deimos-2 se transfieren a la nube donde el usuario de datos podrá acceder directamente a ellos; el usuario de software podrá llevar a cabo el desarrollo de sus propias aplicaciones para el análisis de la actividad en su área de interés y el usuario de plataforma podrá acceder a los productos resultado de combinar las distintas API con los distintos algoritmos definidos inicialmente por defecto para su aplicación.

La finalidad de los usuarios de la plataforma es la adquisición de conocimiento a través de la información derivada del procesado de los datos procedentes de las distintas fuentes. Para la toma de decisiones la visualización y presentación de los datos juega un importante papel, filtrando la información no necesaria que puede entorpecer este proceso.

A continuación se muestra un prototipo de herramienta de visualización de los resultados para Pazo Señorans con el objetivo de visualizar la información necesaria en cada momento y facilitar la gestión y la toma de decisión en las parcelas en cada momento. Ver Figura 63.



Figura 63. Pantalla de acceso a la herramienta prototipo desarrollada en el Proyecto

A partir de esta utilidad se muestra cómo se podría hacer uso de la Teledetección en el cultivo de la vid, a partir de datos recolectados por Pazo Señorans a lo largo de todo el Proyecto e imágenes de satélite. La herramienta cumple con todos los requisitos definidos por el proyecto y está personalizada para Pazo Señorans, aunque tiene la capacidad de adaptarse a cualquier otro usuario final.

Para acceder a la plataforma en la nube, la herramienta es configurable para cada usuario, con sus propias credenciales de nombre de usuario y contraseña, permitiéndole hacer uso de la herramienta de forma distinta. Una vez el usuario se ha identificado, este debe de elegir el tipo de análisis que desea, **cuantitativo** o **cuantitativo**, como se muestra en la Figura 64 y a continuación como se ve en la Figura 65 seleccionara la capa a analizar.

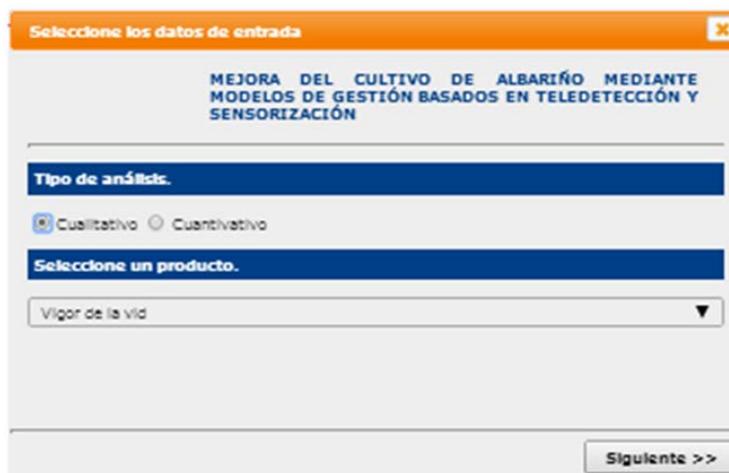


Figura 64. Acceso cuantitativo o cualitativo via "botton opción" a la herramienta web

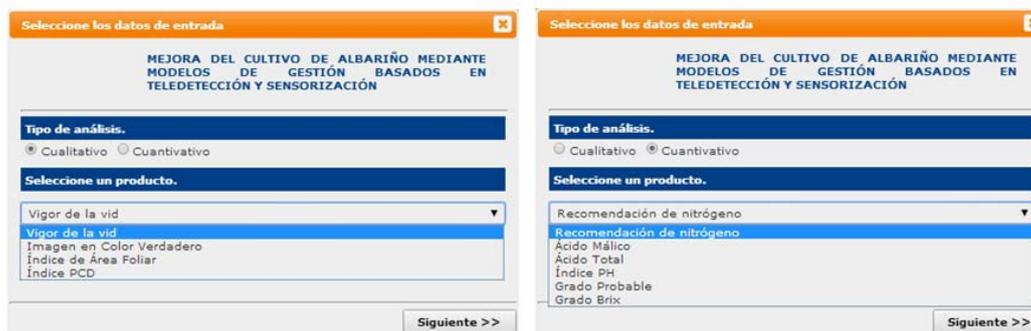


Figura 65. Elección de la capa a visualizar en función del tipo de análisis seleccionado. Izquierda. Capas seleccionables desde el "Combo Box" si se ha seleccionado el análisis cuantitativo. Derecha. Capas seleccionables desde el "Combo Box" si se ha seleccionado el análisis cualitativo

Dado que la herramienta es un prototipo para cualquier usuario, actualmente personalizada para Pazo Señorans, se permite a la herramienta llevar a cabo búsquedas progresivas en función de la provincia, municipio, polígono y parcela catastral, de forma que el usuario gráficamente vea su parcela en el catastro, quedando esta almacenada en una base de datos. Esto permite al usuario no tener que volver a introducir todos los datos incluidos en esta búsqueda progresiva. Debido a que en ocasiones el uso de un terreno no tiene por qué tener el mismo titular que el propietario del mismo o incluso este no es utilizado al 100%, la herramienta permite añadir nuevas capas con límites parcelarios de explotación que no coinciden con el catastro, estableciéndolas como predefinidas para futuras consultas sobre esas parcelas. Ver Figura 66.

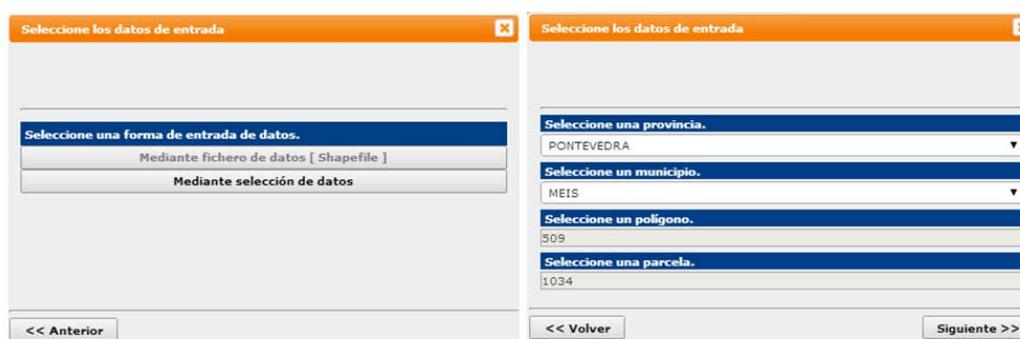


Figura 66. Izquierda. Elección mediante la opción "mediante la selección de datos" de una búsqueda progresiva que depende de las referencias catastrales o la subida a la herramienta de los límites parcelarios a considerar. Derecha. Mediante la opción "Mediante la selección de datos", búsqueda progresiva de la parcela de interés en la Finca Pazo Señorans

Para distintas opciones como las recomendaciones de abonado será necesaria información auxiliar de forma que se defina el momento a partir de cuándo se quiere aplicar, el tipo de abonado, de fondo o corredera, cantidad de precipitación acumulada, del nitrógeno residual existente, tipo de vid y composición del suelo. Esta

información podrá ser introducida progresivamente por el usuario, Figura 67 o definida como fuente adicional en la base de datos en formato de capa vectorial de forma que cualquier nueva definición de estos parámetros sea reconocida por la aplicación. En base al tipo de suelo donde está sembrada la vid, se debe de aplicar una proporción u otra en nitrógeno, fosforo y potasio. Esta información deberá ser proporcionada por una fuente de datos externa o progresivamente por el usuario procedente del análisis de suelos en la finca. Ver figura 68.



Figura 67. Izquierda. Elección del tipo de abonado según el momento de aplicación. Derecha. Tipo de vid y elección de la precipitación acumulada en la Finca Pazo Señorans medida por una estación meteorológica



Figura 68. Izquierda. Elección, según el tipo de suelo, de la proporción de NPK aplicable en la finca. Derecha. Abono aplicable si el momento de aplicación fuera de cobertera

Una vez proporcionados todos los datos (procedentes del satélite, bases de datos externas o proporcionadas progresivamente por el usuario) se ejecutan las distintas tareas mediante la combinación de las APIs específicas dispuestas en la nube para esta aplicación obteniendo los resultados de las capas de información solicitadas para la toma de decisiones. Para poder presentar los resultados en un ámbito diferente a la plataforma, como pueden ser las reuniones de seguimiento, la herramienta permite la exportación de los resultados a fichas para informes.

Para dar mayor flexibilidad a la herramienta, los distintos parámetros de la aplicación son parametrizables de forma que en el fichero de configuración, Figuras 69-70, se podrán definir las siguientes características:

- Nombre de la ficha definido por el tipo de producto seleccionado
- La fuente satelital, así como la fecha de adquisición de la imagen de satélite
- Información toponímica introducida durante la búsqueda progresiva
- Un análisis estadístico del producto seleccionado
- Información temática procedente del dato vectorial elegido durante la búsqueda sistemática o el subido por el usuario
- Cambio a otro tipo de análisis
- Un barra de herramientas que le permitirá medir, definir puntos de interés donde realizar los controles de campo, el plan, la definición de un polígono irregular donde se quiere hacer un análisis, etc. Ver Figura 69.
- Cambio a otro tipo de análisis
- Un módulo de exportación de los puntos a realizar control en tierra
- Un módulo de importación de los puntos donde se realizó trabajos en tierra
- La activación o desactivación de una capa aérea de background
- Activar o desactivar las rejillas de longitud-latitud en el mapa principal y en el mapa temático
- Edición de la paleta de color
- Definición de valores estadísticos como el máximo, mínimo, percentil 33%, percentil 66%, promedio y desviación estándar
- Superposición de la capa temática en el mapa principal
- Superposición de la capa vectorial con los límites de la parcela a los datos de satélite o valor añadido
- Propiedades del mapa que se está viendo: proyección, coordenadas, etc.
- Cambio de logotipo de la bodega emisora
- Introducción en los comentarios de información recogida al analizar la ficha, con o sin ayuda de las herramientas GIS que se incorporan
- Zoom-In y Zoom-Out

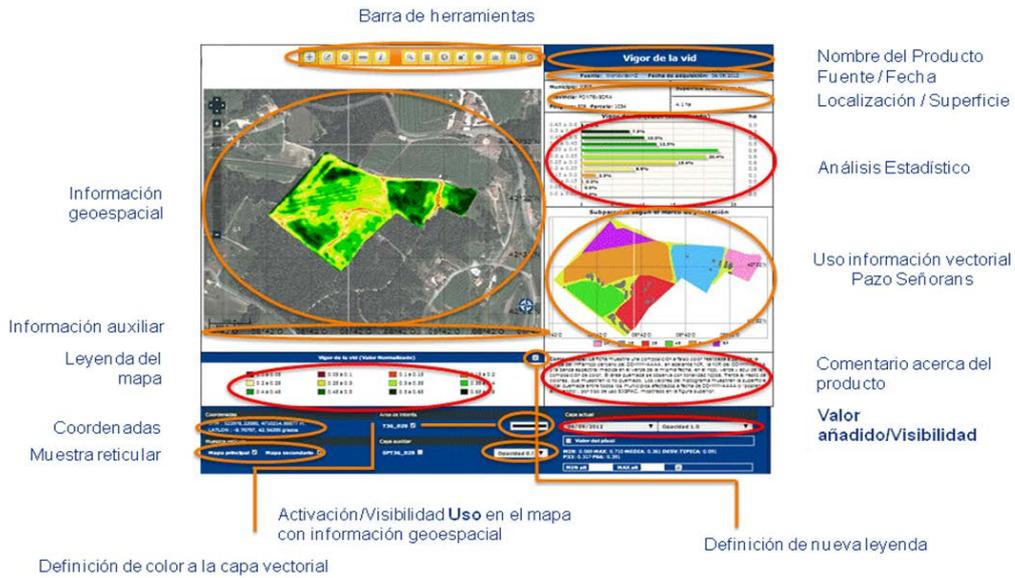


Figura 69. Esta figura muestra el módulo de configuración, así como sus principales características



Figura 70. Esta figura muestra que función tiene cada botón. (a) Navegar, (b) Dibujar polígono, (c) Dibujar punto de interés, (d) Distancia en metros, (e) Información de un área de interés, (f) Selección de datos e entrada, (g) Elimina la capa de polígono pintado, (h) Muestra o no la capa principal, (i) Localiza y centra en el mapa el vector principal, (j) Imprime la ficha, (k) Genera de nuevo un informe, (l) Guarda puntos de interés en formato KML de Google Earth y (m)Cierra la sesión iniciada por el usuario

El módulo de visualización mostrará aquello que haya sido introducido en el módulo de configuración. La Figura 71 muestra en círculos todos los datos heredados desde el módulo de configuración.

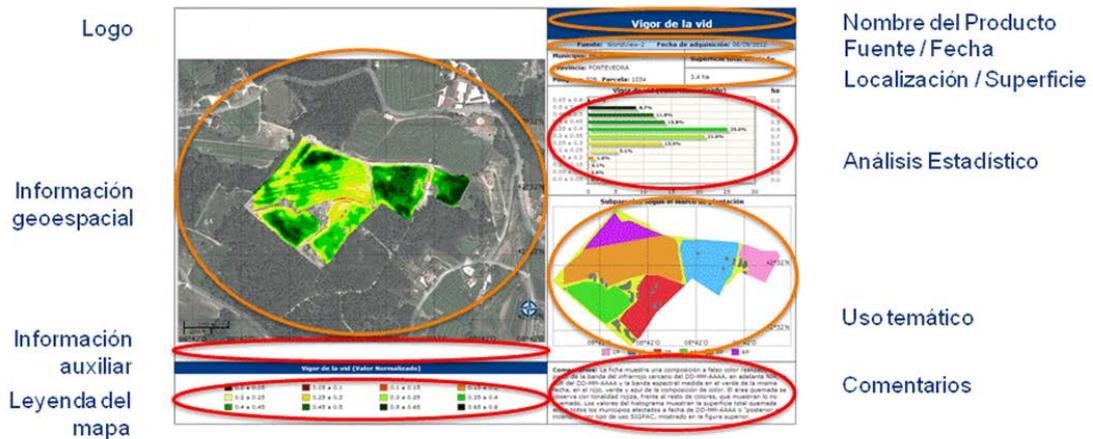


Figura 71. Esta Figura muestra el módulo de visualización, así como lo que se hereda desde el módulo de configuración

Las Figuras 72-74 muestran ejemplos de fichas que podría generar Pazo Señorans.

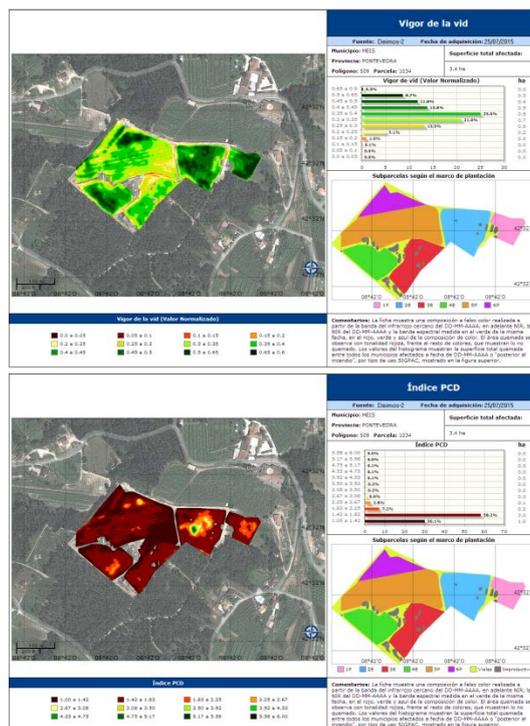


Figura 72. Aspecto final de fichas cualitativas que pueden ser elaboradas por Pazo Señorans

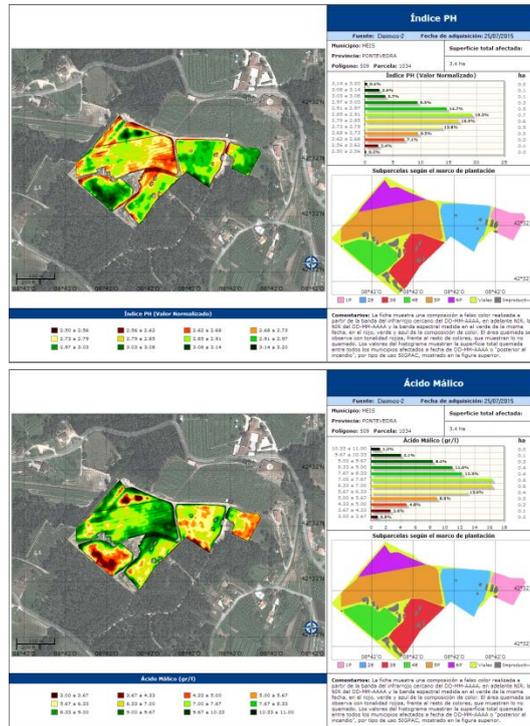


Figura 73. Aspecto final de las fichas cuantitativas que pueden ser elaboradas por Pazo Señorans

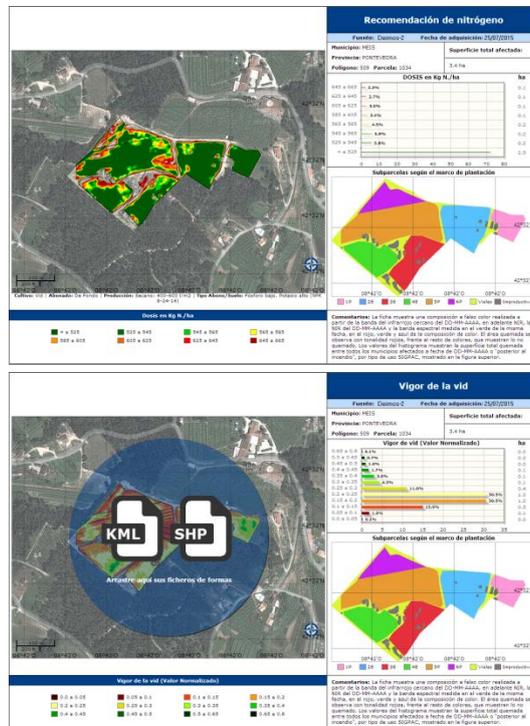


Figura 74. Aspecto final de las fichas con imágenes o perfiles que pueden ser elaboradas por Pazo Señorans

Capítulo 6.- CONCLUSIONES

1.- Se ha desarrollado un protocolo de actuación con información obtenida desde el espacio para el caso de una inundación. En este protocolo se han diferenciado dos etapas: una primera de carácter cualitativo, para el apoyo de las tareas de ayuda a los damnificados y la prevención de daños y una segunda, cuantitativa, para la evaluación de daños.

2.- Se han utilizado dos clasificaciones para la estimación de áreas afectadas por inundación: una supervisada con un clasificador paralelepípedo y otra no supervisada ISODATA. Ambas dan resultados muy similares siendo un 3% mayor el tipo no ISODATA. Además se ha concluido que la clasificación supervisada no es aplicable en un Servicio 24/7.

3.- Se ha diseñado una metodología de adquisición de coberturas sistemáticas sobre países tropicales donde la probabilidad de captura es baja debido a la nubosidad. Esta metodología se basa en la aplicación de tres estrategias de adquisición flexibles que permiten dar prioridad respectivamente a la cobertura de grandes áreas, al relleno de huecos en los datos y a la mitigación de la influencia de la nubosidad en función de los recursos disponibles y las necesidades de captura en cada momento.

4.- Se han generado con éxito mapas de NDVI, fPAR, y PPN de las coberturas mensuales (2014-2015) de Tailandia y Paraguay. Se ha analizado la aplicabilidad de varios algoritmos de cambio de forma que permitan analizar la deforestación y la regeneración de las masas forestales.

5.- Los algoritmos para la generación de mapas de biomasa y fracción de cubierta forestal en bosques tropicales han demostrado su funcionalidad, al igual que los modelos de carbono usados para generar los mapas de absorción de carbono. Las variaciones en las absorciones de carbono se han podido analizar a partir de los datos proporcionados por la herramienta web desarrollada dentro del proyecto DEIMES, permitiendo seleccionar áreas determinadas dentro de las regiones evaluadas que presenten un interés específico para el análisis de la deforestación.

6.- Se ha desarrollado una metodología de gestión de la información en los viñedos basada en elaborar un plan de aprendizaje en el cual las principales variables que afectan al cultivo son registradas, almacenadas y puestas a disposición de los técnicos que han de tomar las decisiones.

7.- Se ha llevado a cabo la búsqueda de relaciones empíricas que a partir de los datos de satélite permitan obtener datos de control provenientes de los datos tomados por los sensores en el viñedo, a nivel sub-parcelario.

8.- Se ha desarrollado una metodología para localizar los puntos de control óptimos dentro del viñedo en función del vigor de la vid en cada momento.

9.- Se han analizado las oportunidades y cambios que la era Big Data puede aportar a las técnicas tradicionales que se han venido aplicando hasta esto últimos años.

10.- Se ha propuesto un prototipo de infraestructura diseñada en la nube para los distintos tipos de usuarios, soportada por todos los nuevos desarrollos tecnológicos que ha permitido el Big Data.

11.- A partir de la infraestructura en la nube propuesta se ha presentado una aplicación para bosques tropicales de forma que el usuario pueda acceder remotamente desde cualquier parte del mundo a ella, analizar y descargar los datos que necesite.

12.- A partir de la infraestructura en la nube propuesta se ha presentado una aplicación para la vid forma que el usuario pueda gestionar y tomar decisiones en su viñedo a partir de los datos de satélite y de los datos de los sensores instalados en sus parcelas. También existe la posibilidad de añadir cualquier tipo de fuente de dato externa que el usuario considere necesaria para su gestión.

Capítulo 7.- BIBLIOGRAFIA

Ablimit Aji, Fusheng Wang, Hoang Vo, Rubao Lee, Qiaoling Liu, Xiaodong Zhang, Joel Saltz, 2013: Hadoop gis: a high performance spatial data warehousing system over mapreduce, Proc. VLDB Endow. 6 , pp 1009-1020.

Atkinson P.M. and Lewis P., 2000: Geostatistical classification for remote sensing. An introduction. Computers and Geosciences, 26, 361-371.

Benediktsson, J.A., and Sveinsson, J.R., 1997: Feature extraction for multisource data classification with artificial neural networks. International Journal of Remote Sensing, 18, 727-740.

Bouman, C. and Shapiro, 1994: A multiscale random field model for Bayesian image segmentation. IEEE Trans. On image Processing, 3, 2, 162-177.

Briese et al, 2004: Challenges in the exploitation of Big Earth Observation Data, Proceedings of the 2014 conference on Big Data from Space, pp 50-52.

Burkhead, J., 2012: Prospects for an International Charter "Space and Major Disaster" Remote Sensing Response to Drought Disasters - An Anhui, China Case Study, A Thesis Submitted to the Faculty of The Graduate College in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Arts, Department of Geography.

Chui, M., Löffler, M., and Roberts, R., 2010: "The Internet of things." McKinsey Quarterly. Retrieved from [https://www.mckinseyquarterly.com /The_Internet_of_Things_2538](https://www.mckinseyquarterly.com/The_Internet_of_Things_2538).

Ciechanowicz, P, Kuchen H., 2010: Enhancing muesli's data parallel skeletons for multi-core computer architectures, in: High Performance Computing and Communications (HPCC), 2010 12th IEEE International Conference on, pp. 108-113.

CONAFOR, 2008: Monitoreo Nacional de la Cobertura forestal 2008. Zapopan, Jalisco, México.

ECOSUR., 2009: Estimación de biomasa para tablas de FRA2010. Villahermosa, Tabasco, México.

EEA-Grants, 2014: http://eeagrantscdti.com/wp-content/uploads/pdf/17/parallels/ecc/29%20ELECTNOR_DEIMOS.pdf.

EMC/IDC, 2012, The Digital Universe in 2020, <http://www.emc.com/leadership/digital-universe/2012iview/index.htm>.

FAO, 2000: Forest Resources Assessment. Roma: FAO.

FAO, 2004: Global Forest Resources Assessment Update 2005 - Term and definitions. Roma: FAO

Fung, T. y E. LeDrew (1987). Application of principal components analysis to change detection. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53: 1649-1658.

Gantz, B. J., Reinsel, D., & Shadows, B. D., 2012: Big Data , Bigger Digital Shadow s , and Biggest Growth in the Far East Executive Summary: A Universe of Opportunities and Challenges. *Idc*, 2007(December 2012), 1-16.

Gartner, 2012: Big Data Analytics-Free Gartner Research. Retrieved from <http://www.gartner.com/it-glossary/big-data/>.

Griggs, B., Kelly, H., 2013: With Twitter going public: 23 key moments from Twitter history. *CNN*. 19/09/2013. <http://www.cnn.com/2013/09/13/tech/social-media/twitter-keymoments/>.

Gordon, S. I. 1980:. Utilizing Landsat imagery to monitor land use change: .a case study in Ohio. *Remote Sensing of Environment* 9: 189- 196.

Gunelius, S., 2014: The data explosion in 2014 minute by minute - Infographic. *Newstex*. 12/07/2014. <http://newstex.com/2014/07/12/the-data-explosion-in-2014-minute-byminute-infographic/>.

Huete, A. J., 1999: Modis Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document. Version 3.

Huete, A. R., 1985: Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing Environment* , 17:37-53.

Instituto español de estudios estratégicos (ieee9), 2013: Big Data en los entornos de defensa y seguridad.

Irish, R. I., 2000:. Landsat7 automatic cloud cover assessment: Algorithms for multispectral, hyperspectral, and ultraspectral imagery. *Proceedings of SPIE*, 4049, 348-355.

Jacquemoud S., Verhoef W., Baret F., Cédric Bacour, Pablo J. Zarco-Tejada, Gregory P. Asner, François C., Ustin S.L, 2009: PROSPECT+ SAIL models: A review of use for vegetation characterization, *Remote Sensing of Environment* 113 S56-S66.

Jaroslav Pokorny,2001: Nosql databases: A step to database scalability in web environment, in: *Proceedings of the 13th International Conference on Information Integration and Web-based Applications and Services*, iiWAS'11, ACM, New York, NY, USA, pp. 278-283.

Jeansoulin R., 2016: Review of Forty Years of Technological Changes in Geomatics toward the Big Data Paradigm, *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* , 5, 155; doi:10.3390/ijgi5090155.

- Jeffrey Dean, Sanjay Ghemawat, 2008: Mapreduce: Simplified data processing on large clusters, *Commun. ACM* 51 , pp 107-113.
- Johnson, L. F. 2003: Temporal stability of an NDVI - LAI relationship in a Napa Valley vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 9(2), 96 - 101.
- Ju, J. and Roy, D. P, . 2008: The availability of cloudfree Landsat ETM+ data over the conterminous United States and globally. *Remote Sensing of Environment*, 112, 1196-1211.
- Kala Karun A., Chitharanjan K., 2003: A review on hadoop: Hdfs infrastructure extensions, in: *Information Communication Technologies (ICT), 2013 IEEE*, pp. 132-137.
- Laney, D., 2011: «3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety».
- Ma, Y., Wu, H., Wang, L., Huang, B., Ranjan, R., Zomaya, A. and Jie, W., 2014: Remote sensing big data computing: Challenges and opportunities, *Future Generation Computer Systems*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.10.029>.
- Manyika, J., Chui, M., Brown, B., Bughin, J., Dobbs, R., Roxburgh, C., & Byers, A. H., 2011: Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity. McKinsey Global Institute. Retrieved from http://www.mckinsey.com/Insights/MGI/Research/Technology_and_Innovation/Big_data_The_next_frontier_for_innovation.
- Meneses, 2009: Análisis del índice normalizado de la vegetación (NDVI) para detección de degradación de la cubierta forestal en México 2008 - 2009.
- Moreno, A., Masselli, F. Gilabert, M.A., Chiesi, M., Martínez, B., and Seufert, G., 2012 Assessment of MODIS imagery to track light-use efficiency in a water-limited Mediterranean pine forest. *Remote Sensing of Environment*, 123, 359-367.
- Myneni, R.B., R.R. Nemani, and S.W. Running. 1997. Estimation of global leaf area index and absorbed PAR using radiative transfer model, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 35: 1380-1393.
- Myeni, R.B. and D.L. Williams. 1994. On the relationship between FAPAR and NDVI. *Remote Sensing of Environment* 49: 200-211.
- Myeni, R.B. et al, 1999: MODIS Leaf Area Index (LAI) And Fraction Of Photosynthetically Active Radiation Absorbed By Vegetation (FPAR) Product (MOD 15). Algorithm Theoretical Basis Document. Version 4.0.
- Montero, F. J., Meliá, J., Brasa, A., Segarra, D., Cuesta, A. and Lanjeri, S., 1999: Assessment of vine development according to available water resources by using remote sensing in La Mancha, Spain. *Agricultural Water Management*, 40, 363 - 375.
- Montesinos S. et al., 2006: Bacchus, Methodological approach for vineyard inventory and management.
- Montesinos S. et al., 2007: Las imágenes de satélite en la gestión de la viña

Nirupama and Simonovic, Slobodan P., 2002: Role of Remote Sensing in Disaster Management. Water Resources Research Report, Book 3. <http://ir.lib.uwo.ca/wrrr/3>.

Normandeau, K., 2013: Beyond Volume, Variety and Velocity is the Issue of Big Data Veracity.
Noyes, D., 2014: The top 20 valuable Facebook statistics. Zephoria Internet Solutions. 13/06/2014. <http://zephoria.com/social-media/top-15-valuable-facebook-statistics/>.

Pearson, R. L., and L. D. Miller, 1972: Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the short-grass Prairie, Pawnee National Grassland, Colorado: 8th international symposium on remote sensing of environment, p. 1357-1381.

Ravi Sinha and Alok Goyal ,2001: A National Policy for Seismic Vulnerability Assessment of Buildings and Procedure for Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Vulnerability
-12.Special Report, III Bom bay, pp. 1

Rengan Xu, M. Araya-Polo, B. Chapman, 2013: Filesystem aware scalable i/o framework for data-intensive parallel applications, in: Parallel and Distributed Processing Symposium Workshops Ph.D. Forum (IPDPSW), 2013 IEEE 27th International, pp. 2007-2014.

RMSI, 2003: Application of GIS for Regional Earthquake Loss Estimation, www.rmsi.com/PDF/regionalearthquake.pdf.

Rouse et al, 1974: Monitoring the vernal advancements and retrogradation of natural vegetation. NASA/GSFC, Final Report, Greenbelt, MD, USA, pp. 1-137.

Sadiku, M.N.O. , Musa, S.M., Momoh, O.D., 2014: Cloud computing: Opportunities and challenges, IEEE Potentials 33, pp 34-36.

Savitzky, Abraham; Golay, Marcel J.E. 1964. «Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures». Analytical Chemistry 36. p. 1627-1639.

Singh, V.K., Banshal, S.K., Singhal, K. and Uddin A., 2015, Scientometric mapping of research on Big Data, Scientometrics 105(2), p. pp 727-741. DOI: 10.1007/s11192-015-1729-9

Tene, O. and Polonetsky, J., 2012: Big data for all: Privacy and user control in the age of analytics, Nw. J. Tech. & Intell. Prop. 11, xxvii.

Tene, O. and Polonetsky, J., 2012: Privacy in the age of big data: a time for big decisions, Stanford Law Review Online 64, 63

Towers, P., 2009: Mapeo de variabilidad de Vid con NDVI.

Tralli, D.M., 2000: Assessment of Advanced Technologies for Loss Estimation, MCEER: Buffalo.

Vargas, F. F. y E. Chuvieco , 1991: Dinámica de la deforestación en regiones tropicales a partir del análisis multitemporal de imágenes SPOT. Teledetección y Medio Ambiente. Sevilla, Junta de Andalucía: 70-76.

Veroustraete, F., Patyn, and Myneni, R.B., 1994: Forcing of a simple ecosystem model with fAPAR and climatic data to estimate regional scale photosynthetic assimilation. In: Vegetation,

Modelling and Climate Change Effects, eds. Veroustraete F. et al., Academic Publishing, The Hague, the Netherlands, 151-177.

Veroustraete, F, Patyn J. and Myneni R.B, 1996: Estimating net ecosystem exchange of carbon using the Normalised Difference Vegetation Index and an ecosystem model. *Remote Sensing of Environment*, 58, 115-130.

Veroustraete, F., Sabbe, H., Eerens, H., 2002: Estimation of carbon mass fluxes over Europe using the C-Fix model and Euroflux data. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 83, 376-399.

Villa, G., Amorós, J., Bautista, N., Domenech, E., Gómez, L., Plaza, N., 2015: Técnicas Big Data para procesamiento multitemporal de imágenes en el Proyecto FP7 SenSyF, Libro de actas del XVI Congreso de la Asociación Española de Teledetección, pp 513-516.

Wang L. et al, 2012: Generic Parallel Programming for Massive Remote, Sensing Data Processing. *CLUSTER 2012*: 420-428.

Wang L. et al, 2014: A parallel file system with application-aware data layout policies in digital earth, *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst. PP (99)*, 1-1 DOI: 10.1109/tpds.2014.2322362

Wang, L., Ma, Y., Yan, J., Chang, V. and Zomaya, A.Y., 2016 High performance cloud computing for remote sensing big data management and processing, *Future Generation Computer Systems*, in Press.

Wessels, K.J., S.D. Prince, and J. Small, 2003:. Monitoring land degradation in southern Africa based on net primary productivity. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International 5*: 3305- 3307.

Yébenes A. y Giner A., Clasificación de imágenes por satélite, apuntes 3º ITT.SE Sistemas de Telemedida, Universidad de Valencia. <http://mural.uv.es/gislo/telemedida.pdf>.

ANEXO I: DEIMOS-1

MISIÓN DEIMOS-1

Descripción de la Misión

La misión DEIMOS-1 es propiedad y está operada por Deimos Imaging (DMI), una compañía de Urthercast. El satélite DEIMOS-1 fue lanzado con éxito el 29 de Julio de 2009 desde el cosmódromo de Baikonur (Kazajistán). La misión está completamente dedicada a la Observación de la Tierra y ha capturado alrededor de 37,749 imágenes (septiembre 2016) por todo el mundo. En la actualidad el sistema DEIMOS-1 proporciona capacidades muy por encima de los objetivos para los que fue diseñado.

Es un sistema multiespectral de tres bandas con 22m de GSD (Ground Sample Distance) con 625 km de swath, situado a una altitud nominal de 663km, con 8 ó 10 bits de resolución radiométrica disponibles. Las imágenes contienen tres bandas espectrales, infrarrojo cercano (NIR), Rojo (R) y Verde (G) cercanas a las bandas de Landsat. La carga útil del satélite son unas cámaras lineal de barrido (CCD), las cuales están montadas en dos bancos que forman un ángulo entre si permitiendo obtener capturas de gran anchura, una de las principales características de DEIMOS-1.

El satélite almacena todas las imágenes en una memoria interna y descarga dicha información en estaciones terrenas debidamente equipadas. Además de la grabadora principal, llamada High-Speed Data Recorder, contiene dos grabadores adicionales, probados con éxito y disponibles como elementos de apoyo. Actualmente, se están utilizando de forma regular dos estaciones terrenas (Boecillo en España y Svalbard en Noruega) además de una tercera de emergencia (estación del fabricante en Gran Bretaña).

La capacidad de almacenamiento a bordo del satélite (más de 8GB) y la velocidad de descarga de datos (40 Mbits/s) permiten la generación de coberturas de grandes áreas en cortos periodos de tiempo. Además el sistema de baterías permite realizar descargas

en cada órbita al menos una vez, de esta forma se puede utilizar la memoria del satélite de forma óptima.



Figura 75. Satélite Deimos-1

El satélite DEIMOS-1

El instrumento óptico SLIM-6-22 es una cámara de barrido lineal de doble banco (CCD) que utiliza el movimiento orbital de la plataforma MicroSat-100 para capturar la radiación reflejada desde la superficie de la Tierra dentro de una franja (también llamado swath) de 625 kilómetros.

Cada canal de la SLIM6 tiene un detector de estado sólido en el plano focal. Los filtros espectrales de las bandas están localizados en frente de cada una de las lentes y una ventana de sílice protege estos filtros de la radiación. En cuanto a la posición relativa de las cámaras, el sensor está formado por dos bancos; cada banco consiste en tres canales (con bandas espectrales NIR, R, G). Los dos bancos están colocados formando un ángulo que permite que la captura sea de aproximadamente 625km solapando entre sí de forma simultánea unos 10 km. A los bancos se les conoce como estribor (starboard, S) y babor (port, P).

La salida del detector está digitalizada a 14 bits y posteriormente es convertida a 10 bits o a 8 bits de resolución radiométrica a través de un conversor analógico-digital. La resolución radiométrica (8 o 10 bits) puede ser definida a través de la herramienta de planificación de la misión DEIMOS-1. El sistema es capaz de proveer imágenes continuas en la dirección de la trayectoria de vuelo. Los datos son almacenados en una memoria de estado sólido de 8GB de capacidad que el satélite lleva a bordo. El sensor SLIM6 tiene capacidad de hacer capturas en ventanas flexibles y en regiones parciales de la franja visible. Esta función es crucial para optimizar la adquisición de imágenes, ya que previene la saturación de almacenamiento y añade flexibilidad a las operaciones del satélite. La Tabla 12 inferior detalla las principales características del sensor a bordo del DEIMOS-1

Tabla 12. Características principales de la carga de pago de DEIMOS-1

SLIM6-22	
Modelo de Sensor	Sensor Lineal Eastman Kodak KLI CCD.
Número de detectores	14,436 detectores por banco
Dimensión de la matriz de pixeles	5.0 x 5.0 μm
Bandas espectrales	0.520-0.600 μm (G), 0.630-0.690 μm (R), 0.770-0.900 μm (NI)
Resolución espacial	22 m GSD (para pixeles en el NADIR)
IFOV	32.07 μrad (ó 0.00184° ó 6.62 arcsec)
FOV por banco	26.01°
Anchura por banco	312 km
Anchura total	625 km considerando los dos bancos
Cuantización de los datos	8 ó 10 bits (configurable)
Ángulo vertical	25.17° entre bancos
Distancia focal	31,200 unidades de detección
Solape entre bancos	461 detectores

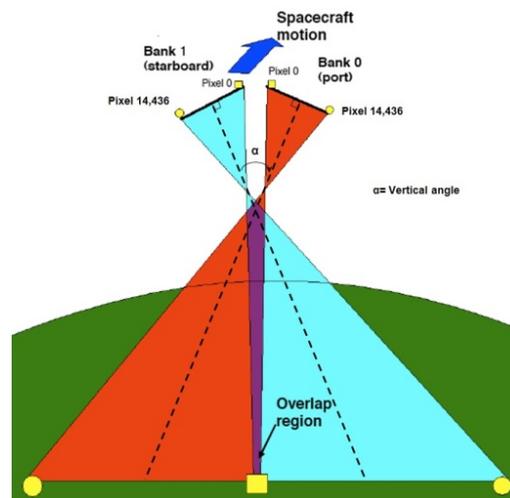


Figura 76. Modelo de sensor del instrumento a bordo de Deimos-1

A continuación se describen las características del instrumento que se pueden parametrizar con el fin de optimizar la calidad de las imágenes obtenidas:

- Resolución radiométrica (8 ó 10 bits)
- Ganancias digitales
- Ganancias analógicas
- Tiempo de exposición
- Tiempo de escaneo por línea.

El ancho de banda espectral y perfiles del sensor DEIMOS-1, equivalentes a las del instrumento Landsat ETM+, se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 13. Características del sensor SLIM-6

Características del sensor SLIM-6		
Bandas	Rango espectral (μm)	Resolución espacial (m)
Verde (G)	0.52 – 0.60	22
Rojo (R)	0.63 – 0.69	22
Infrarrojo cercano (NIR)	0.77 – 0.90	22

IMÁGENES DEIMOS-1

Niveles de procesado Deimos-1

La Tabla 15 muestra los diferentes niveles de procesado derivados de la cadena de procesado de DEIMOS-1. Destacar que DMI típicamente proporciona los productos en nivel de procesado L1T (ortho).

Gracias a la flexibilidad del sistema, es posible generar productos con 8 ó 10 bits bajo petición del cliente.

Tabla 14. Niveles de procesado de Deimos-1

Producto	Descripción
L0R	Los datos de imagen sin procesar se dividen en las 3 bandas espectrales (NIR, Rojo (R) y Verde (G)) con calibración radiométrica en todas ellas.
L1R	Producto geoposicionado basado en un modelo de sensor riguroso con los tres canales espectrales combinados en una imagen registrada, utilizando datos L0R. Los coeficientes del modelo se derivan de la orientación interna y externa procedente de la telemetría y se añaden a los metadatos.
L2R	Producto geoposicionado obtenido a partir de datos L1R, pero con el modelo de sensor refinado a través de un análisis de correlación automática realizada con imágenes de archivo. El proceso de geoposicionamiento es automático, y tiene mejor calidad geométrica que el producto L1R.
L1G	Producto ortorectificado. El origen de este producto son los datos L1R o L2R, además del SRTM DEM. Este proceso es completamente automático.
L1T	Producto ortorectificado con alta calidad geométrica, a nivel de sub-píxel (10 metros de error RMS aproximadamente). Obtenido a partir de datos L1R/L2R refinados con GCPs con respecto a las imágenes de referencia Landsat GLS2000 y el modelo digital de terreno SRTM DEM. Este proceso no es automático, ya que la obtención de GCPs se hace de forma manual por operadores humanos para alcanzar mayor precisión.

Producto imagen Deimos-1

- **Calibración radiométrica**

Las imágenes pueden ser calibradas radiométricamente usando los coeficientes asociados a la ganancia (GAIN) y al sesgo (BIAS) para convertir los niveles digitales (DN) en valores de radiancia. Las unidades de radiancia son:

$$\frac{W}{m^2 \mu m Str}$$

Los coeficientes GAIN y BIAS se usan de acuerdo con la siguiente ecuación. Ambos coeficientes se podrán encontrar en los metadatos de la imagen (archivo DIMAP estandar .dim o archivo HTML .htm). La fórmula para radiancia TOA a partir de valores DN:

$$RADIANCE = \left[\frac{DN}{RESCALE\ GAIN} \right] + RESCALE\ BIAS$$

El instrumento DEIMOS-1 está calibrado en colaboración con DMCii. La calibración absoluta y relativa se revisa cada año, mientras que el seguimiento y el análisis de tendencias se llevan a cabo cada quince días usando Landsat como referencia y utilizando localizaciones CEOS pseudo-invariantes. Si se detectara alguna anomalía, se programaría una nueva calibración.

Con respecto a la calibración del instrumento, y con la finalidad de obtener parámetros de calibración radiométrica absolutos, se utilizó el procedimiento descrito por CEOS con datos obtenidos sobre Tuz Golu (Turquía) y Railroad Valley (Nevada, EEUU). Los parámetros de calibración fueron calculados usando imágenes DEIMOS-1, Beijing-1, UK-DMC y UK-DMC2 adquiridas durante el mes de Agosto de 2009. Previamente a la realización del proceso de calibración absolutas, se realizó la ecualización de los detectores del sensor SLIM-6, caracterizando cada respuesta sobre objetivos brillantes en imágenes adquiridas sobre Dome-C (Antártida) y objetivos oscuros en imágenes nocturnas sobre el Océano Pacífico

La reflectancia TOA (Top of Atmosphere) de una imagen puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi d^2 L_{\lambda}}{E_{0\lambda} \cos \theta_s}$$

Donde:

ρ_{λ} : Reflectancia TOA de la banda espectral λ

d : Distancia de la Tierra al Sol en Unidades Astronómicas [AU].

L_{λ} : Radiancia TOA de la banda espectral λ [$W/m^2 \mu m$]

$E_{0\lambda}$: Irradiancia solar exoatmosférica normalizada a 1 AU [$W/m^2 \mu m$]

θ_s : Ángulo cenit solar [°, grados]

Considerando los parámetros de la ecuación, la distancia Tierra-Sol podría ser calculada a partir la fecha y hora de la adquisición de la imagen, que, junto con el ángulo cenital solar, se define en los metadatos para el centro de la escena. Por su parte, en la Figura 77 se muestran dos conjuntos de valores de radiancia solar exoatmosférica a partir de los diferentes modelos de radiancia solar utilizados en su cálculo, Kurucz y WRC. Cualquiera de ellos se podrían utilizar para completar el cálculo de la reflectancia.

Cabe destacar que esta ecuación no toma en cuenta los efectos atmosféricos, ya que es sólo una conversión de radiancias medidas en el sensor (TOA) en reflectancias. Los valores de reflectancia TOA reales dependen, no sólo en la reflectancia de la superficie, sino también en las absorciones y la dispersión atmosférica, que no están determinadas por esta simple conversión. Por otra parte, debido a la gran franja de las imágenes DEIMOS-1 de más 300 km por banco, el ángulo cenital solar podría variar significativamente del valor centrado definido en los metadatos.

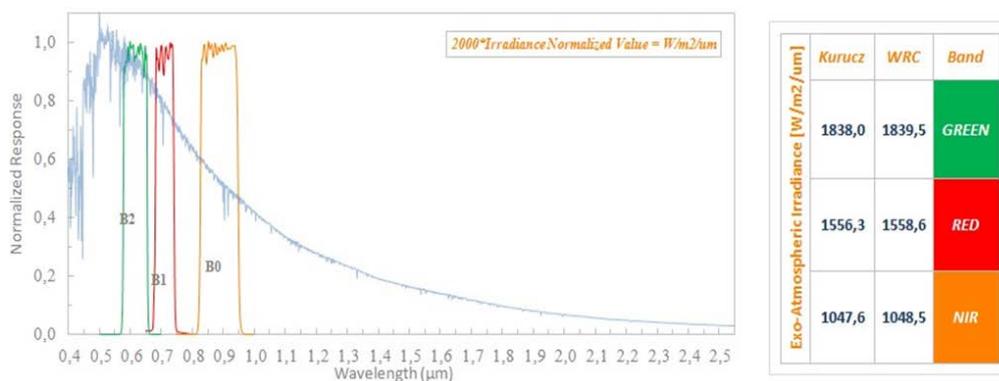


Figura 77. Curvas de transmission spectral de las bandas Deimos-1 (GREEN, RED, NIR) e irradiación solar exoatmosférica (EOλ) para cada banda.

Una alternativa a este cálculo sencillo de la reflectancia sería utilizar un modelo de transferencia radiativa como el 6S, que permite estimar los efectos de absorción y dispersión que ejerce la atmósfera sobre la señal adquirida, resultando en una reflectancia real a nivel de superficie (BOA). Este producto de valor añadido se calcula considerando no sólo la superficie reflectante medida o los diferentes ángulos solares de la escena, sino también los diferentes niveles de absorción y difusión que se producen en las distintas bandas espectrales del DEIMOS-1.

- **Consideración de los bancos del sensor**

Los productos L1T de DEIMOS-1 pueden ser proporcionados en las siguientes configuraciones espaciales:

Tabla 15. Consideración de los bancos del sensor para productos de imágenes Deimos-1

Adquisición de imagen	Producto de imagen
Banco único (P ó S)	Imagen de banco independiente
Banco doble (P y S)	Imagen de banco independiente
	Unión de dos bancos

- **Datos de referencia para la generación del producto L1T**

Los productos L1T de DEIMOS-1 son proyectados por defecto en UTM / WGS84. Sin embargo es posible generar el producto ortorrectificado en cualquier otra proyección definida por el cliente, así como utilizar otras imágenes de referencia y/o modelos digitales del terreno que el cliente indique o proporcione. Hay que tener en cuenta que el archivo de imágenes de DEIMOS-1 está generado siguiendo las siguientes referencias auxiliares:

- Base de referencia: imágenes Landsat GLS2000.
- Modelo Digital del Terreno: Hole-filled seamless SRTM DEM data (<http://srtm.csi.cgiar.org/>). El error vertical del DEM está considerado menor de 16m.

A pesar que estos elementos son utilizados por defecto, DMI es actualmente capaz de usar operacionalmente conjuntos alternativos de datos auxiliares si son proporcionados por el cliente.

- **Conjunto de datos**

Las imágenes producto son entregadas en un fichero comprimido ZIP, siendo los formatos de imagen raster TIFF y GeoTIFF por defecto, junto con los metadatos asociados en distintos formatos.

Los metadatos de la imagen producto están contenidos en el fichero DIMAP (.dim). El formato DIMAP de DMI está basado perfil genérico su versión 1.1 desarrollado por SpotImage y CNES, y está implementado a través del uso de XML.

Algunos elementos del DIMAP no están claramente definidos, estando abiertos a los proveedores de datos para la definición de sus propios parámetros.

Tabla 16. Descripción de los ficheros incluidos en los entregables

Extensión del fichero	Descripción
dim	El fichero DIMAP contiene toda la información a cerca de la imagen, como la fecha y el momento de la adquisición, información de geoposicionamiento, etc. Los valores de posicionamiento del producto L1R son utilizados para proporcionar una aproximación geográfica al producto.
htm	El fichero HTML es sencillo de leer usando un navegador web y contiene toda la información almacenada en el DIMAP.
jpg	Es una imagen reducida del producto, que permite un rápido vistazo y se muestra en el archivo htm.
sip	El archivo SIP es el principal archivo de metadatos de la imagen. Contiene toda la información almacenada en el DIMAP y un modelo de ajuste riguroso para la imagen. El archivo SIP es un formato propietario de Spacemetric AB, SE.
tif	Datos del producto raster.
tfw	ESRI Worldfile. No incluido en los productos L1R.

La información sobre DIMAP en su versión 1.1 y de la implementación DIMAP XML se puede encontrar en la siguiente dirección de URL: <http://www.spotimage.fr/dimap/spec/documentation/refdoc.htm>. Los elementos de DIMAP y su implementación están descritos en los documentos RD#2 y RD#3, los cuales se pueden encontrar en la siguiente dirección URL: <http://www.spotimage.fr/dimap/spec/dictionary/dictionary.htm>

- **Código de denominación de ficheros**

Las imágenes producto L1T son proporcionados en un fichero ZIP cuyo nombre incluye la siguiente información, explicada a través de un ejemplo.

DE01_SL6_22P_1T_20110616T092316_20110616T092427_DMI_0_2e9d

Significado:

DE01: Misión

SL6: Instrumento

22: Resolución

P: Banco del instrumento. Puede tomar las siguientes opciones: P (banco p), S (banco s) o T (ambos bancos juntos)

1T: Nivel de procesado

20110616T092316: Fecha y hora del comienzo de la adquisición de la imagen

20110616T092427: Fecha y hora del fin de la adquisición de la imagen

DMI: Compañía

0: Código interno

2e9d: Código de identificación de la imagen.

ANEXO II: DEIMOS-2

MISIÓN DEIMOS-2

Satélite y Misión

Deimos-2 es un satélite óptico multiespectral de muy alta resolución (75cm pan-sharpened). Es propiedad y está operado por Deimos Imaging (DMI), una compañía privada española que es una compañía de Urthercast. El sistema "end-to-end" (llave en mano) proporciona un servicio rápido y asequible a los clientes de todo el mundo.

Deimos-2 fue lanzado el 19 de junio de 2014 y cuenta con una vida útil de, al menos, siete años. Tiene una órbita helio-síncronica y se encuentra a una altitud de 620 Km con un nodo ascendente (LTAN por sus siglas "Local Time of Ascending Node") de 10h30, lo que permite una revisita media de dos días (uno para latitudes medias).

El satélite tiene una plataforma ágil con una capacidad de orientación de $\pm 40^\circ$ desde nadir (hasta 30° para escenarios nominales y hasta 45° para casos de emergencia) y una cámara con 5 bandas espectrales (1PAN, 4 MS: R,G,B, NIR) con una resolución radiométrica de 10 bits.

DMI gestiona el control del satélite, las actividades de transmisión ascendente y descendente, el procesado de las imágenes y sus archivos. DEIMOS-2 utiliza cuatro estaciones de tierra localizadas en Puertollano y Boecillo (España), Kiruna (Suecia) e Inuvik (Canadá). De esta manera se maximiza la disponibilidad y se garantiza, como mínimo, un contacto con el satélite cada órbita. Las estaciones de tierra secundarias pueden ser utilizadas para actividades de transmisión con el satélite, permitiendo así un mejor rendimiento en términos de tiempo de respuesta y capacidad de las imágenes.

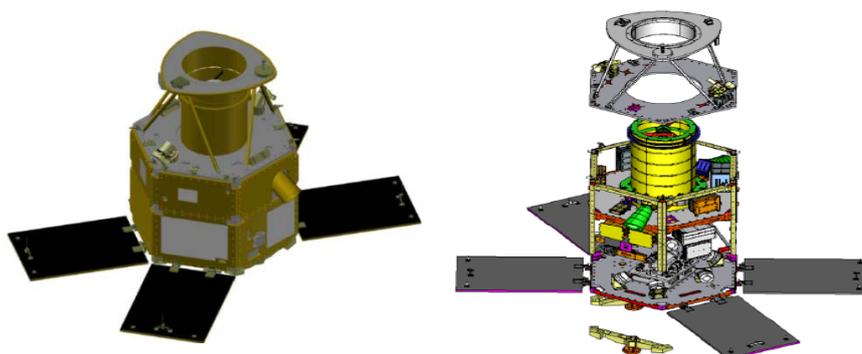


Figura 78. Vista externa y sección del satélite Deimos-2

Tabla 17. Características principales del satélite Deimos-2

Nombre del satélite	DEIMOS-2		
Nombramiento Internacional	2014-033D / 40013 (NORAD)		
Fecha de lanzamiento	19-jun-14		
Tiempo de vida estimado	Al menos 7 años		
Altitud de órbita	620 km (helio-síncrona)		
Nodo ascendente (LTAN)	10:30 (órbita ascendente)		
Tiempo medio de revisita	2 días por todo el mundo (con $\pm 45^\circ$ ángulo de observación)		
Nombre del sensor	HIRAIS / EOS-D		
Tipo de sensor	Óptico		
Bandas y rangos espectrales	λ @ FWHM (nm)		
		min	max
	PAN	560	900
	Blue	466	525
	Green	532	599
	Red	640	697
	NIR	770	892
Resolución espacial	PAN/Pan-sharpened en condiciones NADIR: <ul style="list-style-type: none"> • 1 m GSD (PAN) • 75 cm en productos Pan-Sharpened, después de su procesado. Multiespectral: <ul style="list-style-type: none"> • 4 m GSD (Bandas multiespectrales) 		
Resolución radiométrica	10 Bits		
Ancho de banda	12 km		
Capacidad perpendicular a la trayectoria	Hasta 1,400 km		
Ángulos de observación/incidencia	Plataforma ágil que permite hasta $\pm 30^\circ$ pitch y $\pm 45^\circ$ roll escenarios de emergencia		
Precisión geométrica	100 m CE90 sin GCP		
Capacidad Par Estéreo	Capaz de realizar adquisiciones Par Estéreo con un solo pase		
Capacidad del sistema	Hasta 200,000 km ² al día		

La plataforma Deimos-2 ha sido diseñada e integrada por Elecnor Deimos Satellite System en España en colaboración con SATREC Initiative (Corea del Sur). La funcionalidad de su diseño ya ha sido demostrada con DUBAISAT-1 y DUBAISAT-2.

Las principales características de la plataforma DEIMOS-2 son:

- ❑ Plataforma ágil ($\pm 45^\circ$ perpendicular a su trayectoria, $\pm 30^\circ$ en condiciones normales)
- ❑ Subsistema de actitud de control de alto rendimiento para precisión de apuntamiento y estabilidad: tiene tres ejes de estabilización con 5 ruedas de reacción.
- ❑ Motores de gas Xenón para el mantenimiento de la órbita.
- ❑ Está formado por una estructura cerrada de seis paneles acompañados de cuatro solares. Los paneles solares están hechos de plástico reforzado con vidrio (CFRP) lo que incrementa la consistencia y rigidez. La generación de energía de los paneles solares supondrá más de 450 vatios al final de su vida útil.

Deimos-2 tiene una forma hexagonal diseñada para poder separar la infraestructura de la carga útil. La estructura mecánica consta de dos cubiertas y de un parasol en la parte superior. El sistema electrónico queda distribuido en las cubiertas y los paneles laterales. Cuatro paneles laterales se unen a los lados del satélite. El marco de la estructura está formado por largueros y rieles. En la parte superior, travesaños hechos con plástico reforzado con vidrio que protege del sol la cámara de la carga útil

La configuración mecánica del satélite tiene una envoltura de 200 cm de alto y 154 cm de diámetro.

El subsistema de control de actitud y de órbita (AOCS) está diseñado para asegurar la agilidad y estabilidad del satélite durante las operaciones de la misión y para satisfacer los requisitos de las operaciones del sensor TDI. Debido a valores de Momento de Inercia (Moi) relativamente altos, el satélite está diseñado para realizar diferentes capturas de imágenes como se describe en sucesivas partes de este documento. El satélite puede alcanzar hasta 60° de maniobra en 60 segundos, incluyendo el tiempo de espera necesario para alcanzar la estabilidad deseada.

La precisión de apunte es $< 0.01^\circ$ (3σ) y la estabilidad es $< 0.005^\circ$ /segundos.

Los principales actuadores y sensores que intervienen en la adquisición de imágenes son cinco ruedas de reacción en funcionamiento constante, seis giroscopios de fibra óptica en la doble redundancia y dos rastreadores estelares de alta precisión de menos de 30 arc seg (3σ). Para la determinación de la actitud durante otros modos operativos se utiliza un sensor solar preciso y magnetómetros.

De igual manera, se utiliza un sistema de propulsión de efecto Hall para las maniobras de órbita mediante propulsión eléctrica con gas xenón utilizando cátodos de microondas.

Resolución Espacial

Las imágenes Deimos-2 tienen una resolución ("Ground Sampling Distance", GSD) de 1.0 m para la banda pancromática y 4.0 m para la multiespectral.

El producto estándar Deimos-2 pan-sharpened (ortorrectificado) tiene un tamaño de píxel de 75 cm, después del resampleo.

Todas las resoluciones se refieren a las condiciones de observación en Nadir. En la siguiente figura se observan las resoluciones para distintos ángulos de adquisición de las imágenes.

	0	5	10	15	20	25	30
0	0,75	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
5	0,75	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
10	0,80	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05
15	0,85	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,15
20	0,90	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,20
25	0,95	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,30
30	1,00	1,00	1,05	1,15	1,20	1,30	1,45
35	1,15	1,15	1,20	1,30	1,35	1,45	1,60
40	1,35	1,40	1,40	1,45	1,50	1,65	1,90
45	1,50	1,60	1,65	1,75	1,80	2,00	2,25

Figura 80. Resolución de imágenes Deimos-2 Pansharpened ortorecificadas dependiendo de su ángulo de observación

Resolución Temporal: Tiempo de revisita

Para minimizar el tiempo de revisita, el satélite está configurado para tener una capacidad de $\pm 45^\circ$ respecto al Nadir. Con una inclinación máxima, el campo de visión se extiende a más de 600 km desde el Nadir.

El tiempo promedio global de revisita ($\pm 45^\circ$) es de 2 días. La Figura de abajo muestra más detalles.

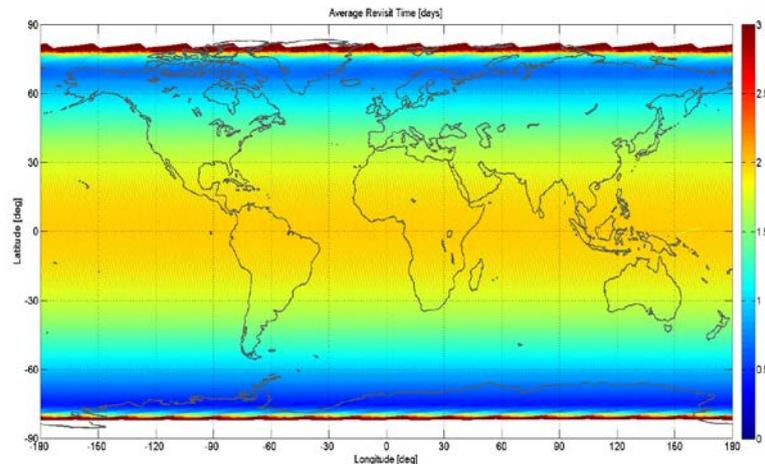


Figura 81. Tiempo medio de revisita de Deimos-2 (días)

Bandas Espectrales

El sistema Deimos-2 incluye cámaras pancromáticas y multiespectrales, las cuales adquieren los datos de forma simultánea.

La capacidad multiespectral incluye 4 bandas en espectro visible y en el infrarrojo cercano (rojo, verde, azul y NIR). El rango espectral de cada banda se enumera a continuación:

- Modo pancromático: 560 nm - 900 nm
- Modo multiespectral:
 - Azul: 466 nm - 525 nm
 - Verde: 532 nm - 599 nm
 - Rojo: 640 nm - 697 nm
 - NIR: 770 nm - 892 nm

Modos de adquisición

DEIMOS-2 tiene cuatro métodos de adquisición de imágenes: imágenes de una sola banda, apuntamiento múltiple en una sola imagen, imágenes estéreo de una sola banda y en teselación.

- Imagen de una sola banda: Imagen de 12 km de ancho y 1,400 Km de largo. El satélite tiene una capacidad de inclinación de $\pm 45^\circ$ transversal a su trayectoria (siendo $\pm 30^\circ$ alcance nominal).

- ❑ **Apuntamiento múltiple en una sola imagen:** Deimos-2 es capaz de realizar imágenes con distinto ángulo de apuntamiento, cambiando de un objetivo a otro con un tiempo mínimo de inactividad.
- ❑ **Imágenes estéreo de una sola banda:** Dos adquisiciones de la misma área en la misma órbita con diferentes ángulos de inclinación (pitch). Las imágenes resultantes tienen 12 km de ancho y hasta 200 km de largo, por lo que, la vista de la misma zona desde distintos ángulos permite generar modelos 3D. Página 9
- ❑ **Teselación:** Dos adquisiciones del mismo área en la misma órbita pero con diferente pitch y roll. Las imágenes resultantes tienen 24 km de ancho y hasta 200 km de largo (compuestas por la adquisición de dos bandas adyacentes, cada una de ellas de 12 km de ancho, y capturadas con unos pocos segundos de retraso).

Las siguientes figuras muestran dos de los cuatro métodos de adquisición de imágenes; apuntamiento múltiple en una sola imagen e imagen estéreo de una sola banda.

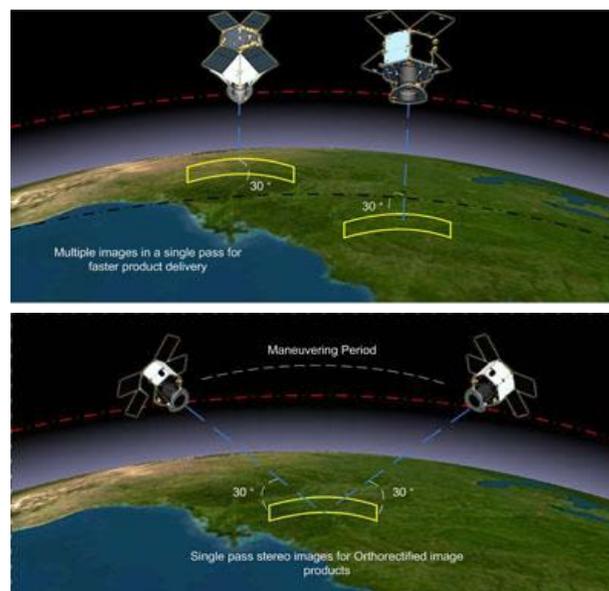


Figura 82. Métodos de adquisición de imagen Deimos-2

Capacidad del Sistema

Deimos-2 tiene una capacidad de captura de hasta 200,000 km² al día.

Este volumen de datos se maneja gracias a la capacidad de almacenamiento de 256 Gbits (32 Gbytes) usando dispositivos de memoria SDRAM, las cuales permiten capturar una franja de tierra de más de 1,400 km en una sola pasada.

Los datos se descargan utilizando la unidad de transmisión de imagen de 160 Mbps Banda X.

PRODUCTOS Y SERVICIOS

Productos estándar

Los productos estándar que DEIMOS-2 ofrece son:

- Pan-sharpened:** Imagen de cuatro bandas que resulta de añadir la información de cada banda multiespectral a la pancromática. La fusión de las imágenes no preserva las características espectrales de las bandas multiespectrales por lo que no deben usarse para propósitos radiométricos.
- Pancromático:** Imagen de una sola banda perteneciente al sensor pancromático.
- Multiespectral:** Imagen de cuatro bandas del sensor multiespectral, con corrección de bandas.
- Bundle (Pancromático + Multiespectral):** Imagen de cinco bandas que contiene los productos pancromáticos y multiespectrales juntos, con corrección de bandas.
- Par Estéreo:** La imagen obtenida es resultado de dos adquisiciones de la misma zona desde diferentes ángulos gracias a la agilidad del satélite. Puede entregarse como un par de imágenes par estereo o pancromática.

Todos los productos son generados a **10 bit**, pero es posible generar productos a 8-bit bajo petición del cliente.

En la siguiente tabla, se recoge la nomenclatura utilizada para definir los productos estándar Deimos-2.

Tabla 18. Nomenclatura de los productos Deimos-2

Tipo de producto	Nombre	Descripción
	PSH	Pan-sharpened 4 bandas
Pan-sharpened	PS3	Pan-sharpened 321 Color Natural
	PS4	Pan-sharpened 432 Falso color
Pancromático	PAN	Sólo pancromático
Multiespectral	MS4	4 Multispectral. Sólo archivos
Bundle	PM4	Bundle (Pan + Multispectral)

Niveles de procesado

Los productos Deimos-2 están disponibles en dos niveles de procesado diferentes:

- ❑ **Nivel 1B:** Producto calibrado y corregido radiométricamente pero sin resamplero. La información geométrica está contenida en un polinomio racional. El producto incluye: los coeficientes polinómicos racionales (RPC), los metadatos con los valores de ganancias (gain) y error (bias) de cada banda (necesarios para convertir los números digitales en radianes a nivel de píxel), la proyección geométrica utilizada (EPGS), puntos de geolocalización, etc.
- ❑ **Nivel 1C:** Producto calibrado y corregido radiométricamente, ortorrectificado de manera manual y resamplero mediante un mapa grid. La información geométrica se encuentra en las etiquetas de información del archivo GeoTiff

Se utiliza google Earth como base de referencia para la ortorrectificación de las imágenes. Existe la posibilidad de utilizar otras bases, previa petición del cliente.

El error geométrico típico de este producto (RMSE) es <20 m.

El formato JPEG-2000 está disponible en todos los niveles de procesado bajo solicitud previa.

En la siguiente tabla se resume la combinación de las bandas espectrales de los productos Deimos-2. La resolución se refiere al Nadir y variará en función de los distintos ángulos de observación.

Tabla 19. Características de los productos vs nivel de procesado

Tipo de producto	Nivel de procesado y Resolución Espacial		Bandas Espectrales		
	L1B (native)	L1C (orto)			
Pan-sharpened	1.0 m	75 cm	All	R, G, B	NIR, R, G
Pan	1.0 m	75 cm		Solo banda Pan	
MS	4.0 m	3.0 m		Sólo bandas MS	
Bundle (Pan+MS)	1.0 m (P), 4.0 m (MS)	75 cm (P), 3.0 m (MS)		Todas	

Ortorectificación

La ortorectificación se lleva a cabo en tres etapas claves: recopilación de puntos de control terrestre (PCT), rectificación y validación de la imagen.

La primera etapa consiste en la recopilación manual de PCT por operadores humanos en L1C, usando como referencia un conjunto de datos estándar y un modelo digital del terreno (MDT) utilizando una aplicación llamada Herramientas PCT, desarrollado por DMI. Cada PCT depura los coeficientes del modelo de sensor e incluye la información de la altura del MDT, corrigiendo así las distorsiones de imagen debido a la topografía y las características de los sensores de la Tierra. El resultado de la recopilación de PCT es un modelo de imagen riguroso lista para pasar a la siguiente etapa del proceso.

DMI gestiona una base de datos interna de PCT, almacenando estos PCT utilizados en el proceso de ortorectificación independientemente del proyecto involucrado. Esta base de datos se ha utilizado operacionalmente con Deimos-1 desde 2009. Las características que definen el PCT (identificación de la imagen del objeto y su referencia, la ubicación del PCT en cada imagen, fecha de procesamiento, etc.) se almacenan en una geodatabase y se entregan como un archivo de texto facilitando la actividad de los operadores.

Además de almacenar y gestionar PCT, las herramientas de ortorectificación de DMI permiten al operador humano comprobar espacialmente el cambio esperado para cada PCT asociada con el ajuste geométrico a aplicar.

La segunda etapa del proceso es la **rectificación de la imagen**; el producto L1B se proyecta mediante el modelo de imagen actualizada producido en la primera etapa.

Finalmente, la **validación** se realiza mediante el cálculo del error geométrico que relaciona la imagen rectificada y un conjunto de puntos de validación independientes definidos por los operadores humanos. La garantía de la calidad y el seguimiento es de vital importancia para DMI. Por lo tanto, para cada imagen ortorectificada se genera y almacena un informe. Este informe contiene la siguiente información:

- ❑ Índice de error en el nivel de PCT, medido como el error cuadrático medio (ECM) en las dimensiones espaciales X y Y.
- ❑ Índice de error a nivel de imagen, contabilizado por las dimensiones espaciales X e Y, así como por el ECM radial. Además, se proporcionan la media y la desviación estándar de los valores ECM observados a nivel de píxel.

El resultado final del proceso de ortorectificación es el producto L1C rectificado a la proyección definida. El proceso de ortorectificación es un proceso flexible mediante el cual la recopilación PCT se puede realizar utilizando cualquier conjunto de datos de referencia y MDE establecidos, y el producto final L1C puede rectificarse para cualquier proyección solicitada.

Los productos L1C ortorectificados de Deimos-2 tienen por defecto la proyección UTM WGS84. En todo momento, los productos de imagen se pueden adaptar a los requisitos específicos para la proyección. La siguiente tabla resume algunas de las opciones disponibles.

Tabla 20. Proyecciones cartográficas y geográficas

Proyección Cartográfica (por defecto)	WGS84 / UTM (EPSG)
Proyección Cartográfica (a petición)	La mayoría de proyecciones están registradas por EPSG
Proyección geográfica (a petición)	WGS84 - muestreo latitud / longitud
Puntos de control terrestres (PCT)	Landsat por defecto; cualquier otra base de datos puede ser utilizada como referencia si está disponible.
Modelo Digital de Elevación (MDE)	SRTM v4.1. por defecto; cualquier otro MDE puede ser integrado en la cadena de procesamiento si está disponible.

Calibración radiométrica

El Instrumento Deimos-2 es calibrado por DMI. Cada año se realizan campañas de calibración absoluta y relativa, mientras que el seguimiento y análisis de tendencias se realizan cada quince días, mediante el calibrado de índices vegetativos pseudo-

invariantes identificado por el organismo CEOS (Committee on Earth Observation Satellites). En el caso de detectarse una anomalía, se programaría una nueva campaña de calibración.

Durante el proceso, las imágenes se corrigen y calibran radiométricamente. Antes de la entrega, las imágenes se ajustan de nuevo para encajar en un formato de enteros sin signo de 16 bits. Los denominados números digitales (DNs por sus siglas en inglés) se pueden convertir a Radiancias TOA (Top of Atmosphere) en $W\ m^{-2}\ sr^{-1}\ \mu m^{-1}$ usando la siguiente ecuación:

$$Radiance_B = DN_B * Gain_B + Bias_B$$

donde B expresa la banda.

Los coeficientes de ganancia (Gain) y error (Bias) pueden encontrarse en el archivo HTML y en el fichero DIMAP llamados "Radiance_Mult" y "Radiance_Add" respectivamente.

PAQUETE DE DATOS

Formato

Los productos Deimos-2 se suministran en formato DIMAP. Consta de dos partes, una por la imagen y otra por la descripción de la imagen (Metadatos):

Los productos de imagen Deimos-2 se proporcionan por defecto en GeoTIFF:

- TIFF es un formato de imagen ampliamente usado y reconocido por todos los softwares disponibles.
- Geo part, reconocido por todos los software de procesamiento de información geográfica. Añade la información de georreferenciación para el archivo de imagen (coordenadas de la esquina superior izquierda de la imagen y el tamaño del píxel) para el archivo de base TIFF y también puede describir la proyección cartográfica utilizada y su correspondiente sistema geográfico.

Los productos Deimos-2 se proveen como conjunto de datos en diferentes archivos que se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 21. Ficheros de datos

Extensión del fichero	Descripción	Nivel del producto
dim	Metadatos DIMAP v1 http://www.spotimage.fr/dimap/spec/documentation/refdoc.htm	L1B, L1C
html	Metadatos legible por el hombre en HTML http://www.v3.org/TR/html401/	L1B, L1C
jpg	Datos de imagen JPEG, JFIF estándar 1.01 quicklook http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=54989	L1B, L1C
tif	Datos de imagen GeoTIFF http://www.remotesensing.org/geotiff/spec/geotiffhome.html	L1B, L1C
_RPC.txt	Coefficientes de polinomios racionales http://geotiff.maptools.org/STDI-0002_v2.1.pdf	L1B

Convención de denominación de archivos

Los archivos de imágenes se proporcionan con una convención de denominación de archivos estándar y el usuario puede reconocer el tipo de productos por la nomenclatura del archivo.

Ejemplo:

DE02_PSH_L1B_000000_20141224T022812_20141224T022817_DE2_3708_E71F.tif

Significado:

- DE02: Misión.
- PSH: Tipo de producto.
- L1B: Nivel de procesado
- 000000: Código interno

- 20141224T022812: Fecha y hora del comienzo de la adquisición de la imagen.
- 20141224T022817: Fecha y hora del fin de la adquisición de la imagen.
- DE2: Misión
- 3708: Número de la órbita
- E71F: Código de identificación de la imagen

A continuación se muestran algunos ejemplos:

- Pan-Sharpener, no-ortorrectificada, 4 bandas (10 bits):
DE2_PSH_L1B_000000_20150224T150137_20150224T150140_DE2_3708_E71F.tif
- Pan-sharpen, no-ortorrectificada, 3 (color verdadero) bandas (8 bits):
DE2_PS3_L1B_000000_20150224T150137_20150224T150140_DE2_3708_E71F.tif
- Pan-sharpen, ortorrectificada, 3 (falso color) bandas (8 bits):
DE2_PS4_L1C_000000_20150224T150137_20150224T150140_DE2_3708_E71F.tif

Deimos DIMAP

Los metadatos de la imagen producto están contenidos en el fichero DIMAP (.dim). El formato DIMAP de Deimos Imaging está basado en el perfil genérico de su versión version 1.1 desarrollado por SpotImage y CNES, y es implementado a través del uso de XML.

Algunos elementos del DIMAP no están claramente definidos estando abiertos para los proveedores de datos para la definición de sus propios parámetros. En el apéndice II de este documento se muestra una descripción detallada de los elementos del DIMAP específicos para Deimos-2.

La información sobre DIMAP en su versión 1.1 y de la implementación DIMAP XLM se puede encontrar en la siguiente dirección URL:
<http://www.spotimage.fr/dimap/spec/documentation/refdoc.htm>.

